

Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México*

Effect of climate change on the productive potential of beans in Mexico

Guillermo Medina-García^{1§}, José Ariel Ruiz-Corral², Víctor Manuel Rodríguez-Moreno³, Jesús Soria-Ruiz⁴, Gabriel Díaz-Padilla⁵ y Patricia Zarazúa Villaseñor⁶

¹Campo Experimental Zacatecas-INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km 24.5 Calera, Zacatecas, México. ²Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8, Tepatitlán, Jalisco, México. Tel: 01-800-088-222 Ext. 82306. (ruiz.ariel@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Pabellón-INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. (rodriguez.victor@inifap.gob.mx). ⁴Sitio Experimental Metepec-INIFAP. Carretera Toluca-Zitácuaro, km. 4.5. Vialidad Adolfo López Mateos s/n, Zinacantepec. Estado de México, México. (soria.jesus@inifap.gob.mx). ⁵Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba, km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz, México. (diaz.gabriel@inifap.gob.mx). ⁶Desarrollo Rural Sustentable. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Universidad de Guadalajara. Carretera Guadalajara-Nogales, km 15.5, Jalisco, México. (paty.zarazua@hotmail.com). [§]Autor de correspondencia: medina.guillermo@inifap.gob.mx.

Resumen

El cultivo de frijol es el segundo en importancia, después del maíz, en la alimentación de los mexicanos, se siembra en 1 590 876 ha, de las cuales 85.5% se cultiva bajo condiciones de temporal. Además de la vulnerabilidad a las condiciones del clima, existe la incertidumbre de la influencia del cambio climático en el rendimiento y producción de esta leguminosa en los años por venir. Se utilizaron anomalías de temperatura y precipitación para el período 2021-2080, estimadas con un ensamble de 11 modelos de circulación general, para generar mapas de temperatura y precipitación futuras a partir de la climatología de referencia 1961-2010. Se obtuvieron las áreas con potencial productivo para frijol de temporal para la climatología de referencia y para escenarios climáticos futuros en dos rutas representativas de concentración de gases de efecto invernadero. Se cuantificaron las superficies de las áreas con potencial productivo en los escenarios climáticos futuros. Los resultados evidencian el incremento de la temperatura y su influencia en la reducción de las áreas con potencial productivo alto, disminuyendo conforme se avanza hacia el futuro en los años 2030, 2050 y 2070 en el RCP 4.5, con respecto a las condiciones climáticas

Abstract

Bean is the second most important crop after maize in Mexican food, with a surface of 1 590 876 ha, of which 85.5% is grown under rainfed conditions. In addition of vulnerability to weather conditions, there is the uncertainty of the impact of climate change on yield and production of this legume in the years to come. Temperature and precipitation anomalies for the period 2021-2080, estimated with assemble of 11 general circulation models to generate temperature maps and precipitations to come from the reference climatology 1961 to 2010 were used. Potentially productive areas for bean under rainfed for reference climatology and future climate scenarios in two representative pathways of concentration of greenhouse gases were obtained. The surfaces of the areas with productive potential in future climate scenarios were quantified. The results show an increase in temperature and its influence in reducing areas with high production potential, decreasing as time moves forward in the years 2030, 2050 and 2070 in the RCP 4.5, regarding current weather conditions, passing from 1 887 426 ha with the current climate to 1,121,163 ha in 2070. Similarly the average production potential decreases towards the future,

* Recibido: noviembre de 2015
Aceptado: febrero de 2016

actuales, pasando de 1 887 426 ha en la climatología actual a 1 121 163 ha en el año 2070. De igual manera el potencial productivo medio disminuye hacia el futuro, pasando de 6 319 789 ha en el escenario actual a 4 907 647 ha en el año 2070. Resultados similares pero con mayor disminución en las superficies de potencial productivo se encontraron en el RCP 8.5. Los resultados obtenidos podrían utilizarse en el diseño de estrategias para enfrentar el cambio climático en las áreas productoras de frijol, como pudieran ser la búsqueda de nuevas variedades de frijol que se adapten a condiciones de mayor temperatura y tolerantes a condiciones de poca disponibilidad de humedad.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, México, calentamiento global, potencial productivo, Rcp.

Introducción

El cultivo de frijol es el segundo en importancia, después del maíz, en la alimentación de los mexicanos, se siembra en 1 590 876 ha, de las cuales 85.5% se cultiva bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano (SIACON, 2014), lo cual lo hace muy dependiente de las condiciones climáticas que se presentan en cada ciclo de cultivo. Además de la vulnerabilidad a las condiciones del clima, existe la incertidumbre de la influencia del cambio climático en el rendimiento y producción de esta leguminosa en los años por venir.

Actualmente el cambio climático representa uno de los principales problemas que enfrenta la agricultura, debido a las alteraciones que causa en los patrones climáticos y por tanto en la agroclimatología relacionada con el manejo de las actividades agrícolas. El incremento de temperatura causado por el aumento en la concentración atmosférica de los gases efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2013), propicia entre otras cosas la desecación de muchas regiones debido al aumento de la evaporación (Woodhouse *et al.*, 2010) y de la modificación de los patrones de lluvia (Durán *et al.*, 2014).

Estudios recientes han demostrado que la temperatura de las áreas agrícolas de México se ha venido incrementando de manera perceptible desde la década de los años noventa del siglo pasado (Ruiz *et al.*, 2010; Zarazúa-Villaseñor *et al.*, 2011), este incremento de la temperatura trae consigo modificaciones en variables agroclimáticas como puede ser la acumulación de frío en el periodo invernal (Medina-García *et al.*, 2011). Al igual que en otros países, en México existe

from 6 319 789 ha in the current scenario to 4 907 647 ha in the year 2070. Similar results but with higher surface decrease of productive potential were found in RCP8.5. The results could be used to design strategies to address climate change in bean production areas, as it could be the search for new bean varieties that adapt to high temperature and tolerant to low moisture availability conditions.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, Mexico, global warming, production potential, Rcp.

Introduction

Bean is the second most important crop after maize in Mexicans food, it has a surface of 1 590 876 ha, of which 85.5% is grown under rainfed conditions in the spring-summer cycle (SIACON, 2014 cycle), which makes it highly dependent on weather conditions that occur in each crop cycle. In addition of vulnerability to weather conditions, there is the uncertainty of the impact of climate change on yield and production of this legume in the years to come.

Currently climate change is one of the main problems facing agriculture, due to disturbances caused in weather patterns and therefore in agro-climatology related with the management of agricultural activities. Temperature rise caused by the increase in atmospheric concentration of greenhouse gases (GHG) (IPCC, 2013), promotes among other things the drying in many regions due to increased evaporation (Woodhouse *et al.*, 2010) and modification of rainfall patterns (Duran *et al.*, 2014).

Recent studies have shown that temperature of the agricultural areas in Mexico have been increasing noticeably since the early nineties (Ruiz *et al.*, 2010; Zarazúa-Villaseñor *et al.*, 2011), this increase in temperature brings changes in agro-climatic variables such as the accumulation of cold in the winter period (Medina-García *et al.*, 2011). As in other countries, in Mexico there is a concern about climate change and its possible impacts on the primary production sector, due to there are few quantitative and documented studies focused to agricultural areas (Tejeda and Rodríguez, 2007).

Moreover, as a result of the increase in greenhouse gases in the atmosphere, there is an increase in temperature that could have both positive and negative effects on productive

una preocupación por el cambio climático y sus posibles impactos sobre el sector productivo primario, debido a que existen aún pocos estudios cuantitativos y documentados enfocados a las áreas agrícolas (Tejeda y Rodríguez, 2007).

Por otra parte, como resultado del aumento de los GEI en la atmósfera, se tiene un incremento en la temperatura que puede tener efectos tanto positivos como negativos sobre el potencial productivo de los cultivos. Un aumento en la temperatura acelera el proceso de madurez de los cultivos, reduce la duración del área foliar y con ello el requerimiento hídrico total a la madurez del cultivo (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011; Hatfield *et al.*, 2011).

Se han desarrollado diversos estudios para identificar las áreas o zonas donde se pudiera realizar con mayor probabilidad de éxito y con mayor rentabilidad la producción de cultivos, también llamado potencial productivo (Díaz *et al.*, 2008; Medina *et al.*, 2009; Aguilar *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2011); sin embargo, en pocos cultivos se ha estudiado el efecto del cambio climático sobre las áreas con potencial productivo.

Los cambios en los patrones climáticos, tienen profundos efectos en el crecimiento y productividad de las plantas a corto plazo (Attipalli *et al.*, 2010). En México se han realizado estudios sobre la temática de cambio climático y su impacto en la agricultura, pero pocos han analizado a detalle los efectos sobre sistemas productivos en particular, lo cual limita el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático en este sector (Ruiz *et al.*, 2011).

El conjunto de modificaciones en los índices agroclimáticos causará una reducción de la superficie con condiciones agroclimáticas óptimas para la producción de maíz en las zonas trópico, subtropical y transicional e incremento de esta superficie en valles altos y valles muy altos. Estos resultados podrían utilizarse en el diseño de estrategias, para enfrentar el cambio climático en las áreas productoras de maíz en México (Ruiz *et al.*, 2011).

Tinoco-Rueda *et al.* (2011) encontraron resultados similares en el estado de Jalisco, donde en una zonificación agroecológica en escenarios futuros, la superficie potencial para el cultivo de maíz muestra un decremento entre 64 y 91% para el periodo 2041-2060. De igual manera González *et al.* (2011), establecieron las áreas que actualmente poseen condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo de frijol en el estado de Jalisco, así como las áreas que tendrán

potential of crops. An increase in temperature accelerates crop maturity, reduces the duration of leaf area and thus total water requirement to crop to maturity (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2011; Hatfield *et al.*, 2011).

Several studies have been developed to identify areas where crop production could be performed more likely to succeed and more profitable, also called productive potential (Díaz *et al.*, 2008; Medina *et al.*, 2009; Aguilar *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2011); however, in few crops has been studied the effect of climate change on areas with productive potential.

Changes in weather patterns have profound effects on plant growth and productivity in the short term (Attipalli *et al.*, 2010). In Mexico there have been studies on the subject of climate change and its impact on agriculture, but few have analyzed in detail the effects on product systems, which limit the design of strategies for adaptation to climate change in this sector (Ruiz *et al.*, 2011).

The set of changes in agro-climatic indices will cause a reduction in the area with optimal growing conditions for corn production in the tropics, subtropics and transitional areas and increase of the surface very high valleys and high valleys. These results could be used in designing strategies to address climate change in corn production areas in Mexico (Ruiz *et al.*, 2011).

Tinoco-Rueda *et al.* (2011) found similar results in the state of Jalisco, where in an agro-ecological zoning in future scenarios, the potential area to grow corn shows a decrease between 64 and 91% for the period 2041-2060. Similarly González *et al.* (2011), established the areas that currently have optimal agro-climatic conditions to grow bean in the state of Jalisco, as well as areas that will have optimum conditions in the decades from 2021-2030 and from 2041-2050 and selected varieties showing different adaptation capacity with current climate and climate change scenarios.

Ruiz *et al.* (2011) and Medina *et al.* (2011) applied the results of the assemble model from Magaña *et al.* (2007) to obtain climate scenarios and its effects on corn production and in the accumulation of cold hours for apple, respectively.

The aim of this study was to estimate the impact of climate change on future climate scenarios, on bean potential areas, under rainfed in Mexico.

condiciones óptimas en las décadas 2021-2030 y 2041-2050 y seleccionaron variedades que muestran diferente capacidad de adaptación en el escenario de clima actual y en escenarios de cambio climático.

Ruiz *et al.* (2011) y Medina *et al.* (2011) aplicaron los resultados del modelo ensamble de Magaña *et al.* (2007) para la obtención de escenarios climáticos y sus efectos en la producción de maíz y en la acumulación de horas frío para manzano, respectivamente.

El objetivo de este estudio fue estimar el impacto del cambio climático en escenarios climáticos futuros, sobre las áreas potenciales de frijol de temporal en México.

Materiales y métodos

La primera parte del estudio consistió en la estimación de escenarios climáticos futuros, para ello se utilizó la base de datos de anomalías mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación medias mensuales obtenidas del modelo ensamble integrado por 11 modelos de circulación general (GCM) reducidos en escala y calibrados (Walton *et al.*, 2013) seleccionados para México (BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSLCM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M) para las rutas de concentración representativas (RCP) de gases de efecto invernadero (GEI) 4.5 y 8.5. Toda esta información se obtuvo del portal de datos de cambio global de WorldClim con una resolución de 30" arco. Como climatología de referencia se utilizó el período 1961-2010.

Para la aplicación de los resultados de los GCM con reducción de escala, en los estudios relacionados con la agricultura, entre ellos el de potencial productivo, es conveniente utilizar una buena resolución, por lo que se utilizó la resolución de las imágenes de clima generadas por el INIFAP de 90 x 90 m, de tal manera que los resultados del potencial productivo tengan el detalle suficiente para aplicarlos en la toma de decisiones de planes a largo plazo.

Posteriormente, se tomó la climatología de referencia, la cual se trabajó en formato raster, sumándole algebraicamente las anomalías futuras resultantes del modelo ensamble. Se estimaron los valores de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación mensuales para los años 2021 a 2080.

Materials and methods

The first part of the study consisted in the estimation of future climate scenarios, to do so, the monthly database of anomalies for maximum temperature, minimum temperature and average monthly precipitation obtained from the assembly model made up of 11 general circulation models (GCM) reduced in scale and calibrated (Walton *et al.*, 2013) selected for Mexico (BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSLCM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M) for representative concentration pathways (RCP) of greenhouse gases (GHGs) 4.5 and 8.5. All this information was obtained from data portal WorldClim global change with a resolution of 30 "arc. As reference climatology the period 1961-2010 was used.

To apply the results of downscaled GCM, in studies related to agriculture, including the productive potential, it is convenient to use a good resolution, so the image resolution used for climate generated by INIFAP 90 x 90 m, so that the results of the productive potential have enough detail for the application in decision making to long-term plans.

Subsequently, reference climatology which was worked in raster format and adding algebraically future anomalies resulting from assembly model; the maximum temperature, minimum temperature and monthly precipitation values for the years 2021 to 2080 were estimated. With the monthly data the spring-summer cycle (PV) (May-October) values for those years were obtained, then temperatures and average rainfall of spring-summer for climate scenarios 2021-2040, 2041-2060 and 2061-2080 were obtained, hereinafter referred to as climatology or years 2030, 2050 and 2070 respectively.

The second part of the study was to estimate the productive potential, which is based on agro-ecological requirements of the species (Medina *et al.*, 1997). Potentially productive areas to grow beans under rainfed conditions in the spring-summer cycle were obtained. Potential areas were obtained for base climatology and for three climate scenarios. To obtain the potential productive areas, temperature and precipitation information were collected from INIFAP, the information on land use 5 series and edaphologic scale 1: 250 000 from INEGI. IDRISI Selva and ArcGIS View 10.1 were used.

Con los datos mensuales se obtuvieron los correspondientes al ciclo primavera-verano (PV) (mayo-octubre) de esos años, luego se obtuvieron las temperaturas y precipitaciones medias del ciclo primavera-verano para los escenarios climáticos 2021-2040, 2041-2060 y 2061-2080, en adelante referidas como climatologías o años 2030, 2050 y 2070 respectivamente.

La segunda parte del estudio consistió en la estimación del potencial productivo, el cual se basa en los requerimientos agroecológicos de las especies (Medina *et al.*, 1997). Se obtuvieron las áreas con potencial productivo para el cultivo de frijol bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano. Las áreas potenciales se obtuvieron para la climatología base y para los tres escenarios climáticos. En la obtención de las áreas con potencial productivo se utilizó la información de temperatura y precipitación del INIFAP, la información de uso del suelo serie 5 y edafología escala 1:250 000 de INEGI. Se utilizaron los sistemas de información geográfica IDRISI Selva y ArcGis Ver. 10.1.

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, se proponen algunas medidas de adaptación a los a los escenarios climáticos estudiados.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan las superficies con potencial de producción de frijol bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano, en las condiciones climáticas actuales y para las climatologías 2030, 2050 y 2070, en dos rutas representativas de concentración de gases de efecto invernadero. La superficie potencial obtenida es independiente del uso actual del suelo agrícola, es decir, no necesariamente esa superficie está disponible para sembrar frijol de temporal.

En ese cuadro se observa como la superficie de alto potencial de frijol de temporal disminuye conforme se avanza hacia el futuro en los años 2030, 2050 y 2070 en el RCP 4.5, con respecto a las condiciones climáticas promedio o actuales, pasando de 1 887 426 ha en la climatología actual a 1 144 100 ha en el año 2070. De igual manera el potencial productivo medio disminuye hacia el futuro, pasando de 6 319 789 ha en el escenario actual a 4 738 986 ha en el año 2070 (Figura 1).

Finally, according to the results, some adaptation measures to climate scenarios studied are proposed.

Results and discussion

Table 1 shows the areas with potential production for bean under rainfed conditions in the spring-summer cycle, current climate conditions and for climatology 2030, 2050 and 2070, in two representative concentration pathways of greenhouse gases. The obtained surface potential is independent from the current agricultural land use, that is, not necessarily that surface is available to grow beans under rainfed.

In this table can be seen how the surface of high potential for bean under rainfed decreases as it moves forward in the years 2030, 2050 and 2070 in RCP 4.5, regarding to the average or current weather conditions, passing from 1 887 426 ha with current climate to 1 144 100 ha in 2070. Similarly the average productive potential decreases towards the future, from 6 319 789 ha in the current scenario to 4 738 986 ha in 2070 (Figure 1).

Cuadro 1. Superficie de potencial productivo alto y medio de frijol de temporal ciclo PV, bajo las condiciones climáticas actuales y en los escenarios climáticos futuros 2030, 2050 y 2070 en los RCP 4.5 y 8.5.

Table 1. High and medium potential productive area of bean under rainfed PV cycle, under current climate and future climate scenarios 2030, 2050 and 2070 in RCP 4.5 and 8.5.

RCP	Escenario climático futuro	Potencial productivo	
		Alto	Medio
RCP 4.5	Actual	1 887 426	6 319 789
	2030	1 325 130	6 379 916
	2050	1 185 990	5 334 760
RCP 8.5	2070	1 144 100	4 738 986
	2030	1 282 207	5 710 348
	2050	973 195	3 562 476
	2070	727 933	2 048 765

Similar behavior occurs in RCP 8.5, just that surface decrease is greater with respect to the current scenario, passing the high productive potential of 1 887 426 a 727 933 ha, a reduction of 61.4% of the surface and the average

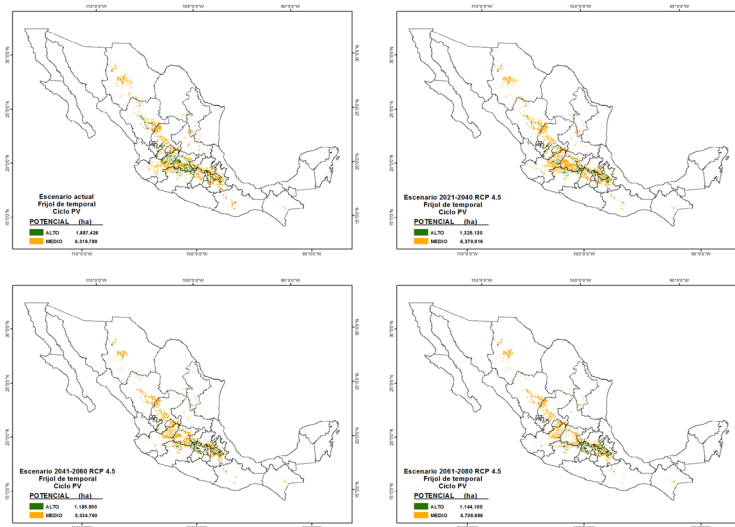


Figura 2. Potencial productivo de frijol de temporal ciclo PV, bajo las condiciones climáticas actuales promedio y en las climatologías 2030, 2050 y 2070 en el RCP 4.5.
Figure 2. Potential production of bean under rainfed PV, cycle under current average weather conditions and in climatologies 2030, 2050 and 2070 in the RCP 4.5.

Comportamiento similar ocurre en el RCP 8.5, solo que la disminución de las superficies es mayor con respecto al escenario actual, pasando el potencial productivo alto de 1 887 426 a 727 933 ha, una reducción de 61.4% de la superficie y el potencial medio disminuye su superficie de 6 319 789 hasta 2 048 765 ha, un porcentaje de 67.6%, en el año 2070 (Figura 3). Semejante a lo que encontraron Tinoco-Rueda *et al.* (2011) para maíz en el estado de Jalisco para el periodo 2041-2060.

potential declines its surface from 6 319 789 to 2 048 765 ha, a percentage of 67.6% in 2070 (Figure 3). Similar to that found by Tinoco-Rueda *et al.* (2011) for maize in the state of Jalisco for the period 2041-2060.

Surface reduction with high and medium potential production was mainly due to increase in average temperature from May to October in different climate scenarios. This can be seen

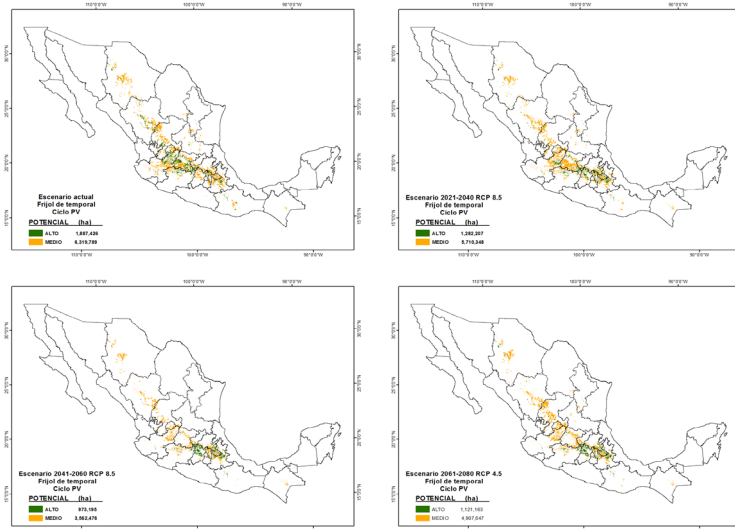


Figura 3. Potencial productivo de frijol de temporal ciclo PV, bajo las condiciones climáticas actuales promedio y en las climatologías 2030, 2050 y 2070 en el RCP 8.5.
Figure 3. Potential production of bean under rainfed PV, cycle under current average weather conditions and climatology 2030, 2050 and 2070 in RCP 8.5.

La reducción de la superficie con potencial productivo alto y medio se debe básicamente al aumento de la temperatura media de mayo a octubre en los diferentes escenarios climáticos. Esto se puede ver en el Cuadro 2, la temperatura media del escenario actual en las áreas de alto potencial es de 18.9 °C, mientras que en las dos primeras climatologías del RCP 4.5 es de 20.0 y 21.0 °C; es decir, se tiene un incremento de 1.1 y 2.1 °C respectivamente; en la tercera climatología el aumento es de 2.6 °C con respecto a la climatología de referencia, este aumento de temperatura disminuye las condiciones óptimas para el desarrollo del frijol. El otro factor importante en el potencial productivo del frijol de temporal es la precipitación, pero en el ciclo de cultivo primavera-verano se reduce 19 mm en las áreas de alto y medio potencial en el año 2070 en el RCP 4.5, lo que no tiene gran influencia en la disminución del potencial; en el RCP 8.5 si hay una reducción significativa de la precipitación hasta de 91 mm en el año 2070 en las áreas de alto potencial y 84 mm en las de mediano potencial (Cuadro 3). En conjunto con la disminución de la lluvia, el aumento de la temperatura provocará mayores niveles de evapotranspiración, debido a lo cual el cultivo de frijol sufrirá más por falta de humedad en su balance hídrico (Ruiz *et al.*, 2011).

in Table 2, the average temperature of the current scenario on high potential areas is 18.9 °C, while in the first two climates from RCP 4.5 is 20.0 and 21.0 °C; that is, there is an increase of 1.1 and 2.1 °C respectively; in the third climate the increase is 2.6 °C regarding reference climatology, this increase in temperature decreases the optimum conditions for beans growth. The other important factor in potential production of bean under rainfed is precipitation, but in the crop cycle spring-summer it decreases 19 mm in high and medium potential areas in 2070 in RCP 4.5, which does not have great influence on the reduction of potential; in RCP 8.5 there is a significant reduction in precipitation of up to 91 mm in 2070 in high potential areas and 84 mm at medium potential areas (Table 3). Together with the decrease in rainfall, the increase in temperatures will cause higher levels of evapotranspiration, due to which the bean crop will suffer most from lack of moisture in its water balance (Ruiz *et al.*, 2011).

Figure 4A shows the surface with high productive potential in some of the main producing states of bean in the country, for different climate scenarios, it can be seen that the effect of climate change is not the same in different regions of the

Cuadro 2. Temperatura media de mayo a octubre de las áreas con potencial productivo alto y medio de frijol de temporal ciclo PV, obtenidas considerando la superficie de potencial actual, en los diferentes escenarios y RCP.

Table 2. Average temperature from May to October on the areas with high and medium potential production of bean under rainfed PV cycle, obtained considering the current potential surface in the different scenarios and RCP.

RCP	Escenario	Potencial alto		Potencial medio	
		Temperatura	Dif. esc. actual	Temperatura	Dif. esc. actual
4.5	Actual	18.9		20.8	
	2030	20.0	1.1	21.9	1.1
	2050	21.0	2.1	23.0	2.2
	2070	21.5	2.6	23.4	2.6
8.5	2030	20.3	1.4	22.2	1.4
	2050	21.7	2.8	23.6	2.8
	2070	23.0	4.6	24.8	4.0

Dif. esc. actual= diferencia con respecto al escenario actual.

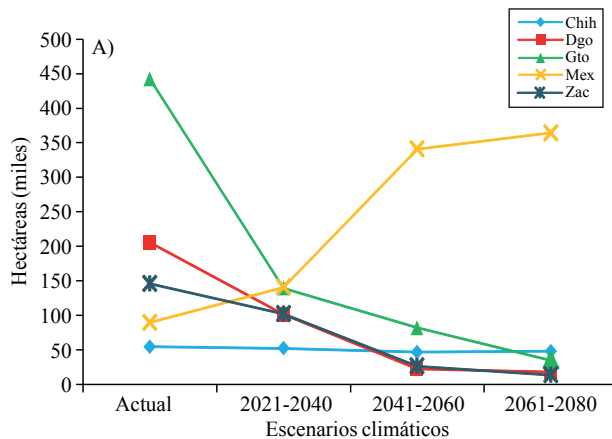
Cuadro 3. Precipitación media de mayo a octubre de las áreas con potencial productivo alto y medio de frijol de temporal ciclo PV, obtenidas considerando la superficie de potencial actual, en los diferentes escenarios y RCP.

Table 3. Average rainfall from May to October of the areas with high and medium potential production of bean under rainfed PV cycle, obtained considering the current potential surface, in the different scenarios and RCP.

RCP	Escenario	Potencial alto		Potencial medio	
		Precipitación	Dif. esc. actual	Precipitación	Dif. esc. actual
4.5	Actual	583.0		563.0	
	2030	575.0	-8.0	554.0	-9.0
	2050	566.0	-17.0	544.0	-19.0
	2070	564.0	-19.0	544.0	-19.0
8.5	2030	548.0	-35.0	531.0	-32.0
	2050	513.0	-70.0	498.0	-65.0
	2070	492.0	-91.0	479.0	-84.0

Dif. esc. actual= diferencia con respecto al escenario actual.

En la Figura 4A se presenta la superficie con potencial productivo alto en algunos de los principales estados productores de frijol en el país, para los diferentes escenarios climáticos, ahí se puede observar que el efecto del cambio climático no es el mismo en las diferentes regiones del país para la producción de frijol de temporal. En general la tendencia es hacia la baja en la superficie con potencial alto, pero en regiones templadas actuales la superficie aumentará en el futuro, como es el caso del estado de México. En el potencial medio se observa una tendencia diferenciada entre los estados, en el principal estado productor (Zacatecas) la tendencia es ligeramente hacia la baja y en el estado de México donde la superficie con potencial alto aumenta, también disminuye el potencial medio, ya que esta superficie pasará a potencial alto. En los estados de Durango y Guanajuato, primero aumenta el potencial medio y luego disminuye (Figura 4B). Resultados similares encontraron Ruiz *et al.* (2011) en las áreas productoras de maíz en México.



country for bean production under rainfed. Overall the trend is downward on the surface with high potential, but in temperate regions the surface will increase in the future, such as the state of Mexico. In the medium potential there is a differentiated trend among states, in the main producing state (Zacatecas) the trend is slightly downward and in the state of Mexico where the surface with high potential increases, it also decreases the medium potential, as this will pass to high potential surface. In the states of Durango and Guanajuato, the medium potential increase first and then decreases (Figure 4B). Similar results were found by Ruiz *et al.* (2011) in corn producing areas in Mexico.

In RCP 8.5 (Figure 5A and 5B) show a similar behavior in high potential, but the downward trend is more pronounced, and in four of the five states with high potential decreases to almost zero hectares by year 2070. With medium potential happens something similar, decreasing in all cases reduced to about 200 thousand hectares. These areas with high and medium potential will pass to low potential.

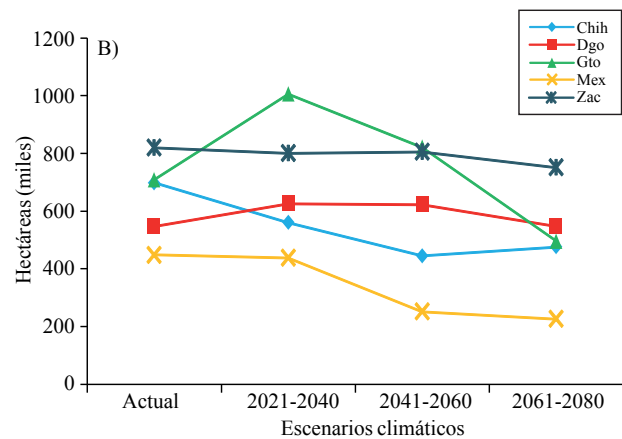


Figura 4. Superficie de potencial productivo alto (A) y medio (B) de frijol de temporal ciclo PV, bajo las condiciones climáticas promedio y en las climatologías del RCP 4.5, en diferentes estados del país.

Figure 4. High (A) and medium (B) potential production surface of bean under rainfed PV cycle, under average weather conditions and climates from RCP 4.5, in different states.

En el RCP 8.5 (Figura 5A y 5B) se observa un comportamiento similar en el potencial alto, pero la tendencia hacia la baja es más pronunciada, y en cuatro de los cinco estados presentados el potencial alto disminuye prácticamente a cero hectáreas para el año 2070. Con el potencial medio sucede algo semejante, reduciéndose en todos los casos hasta alrededor de 200 mil hectáreas. Estas áreas con potencial alto y medio pasarán a potencial bajo.

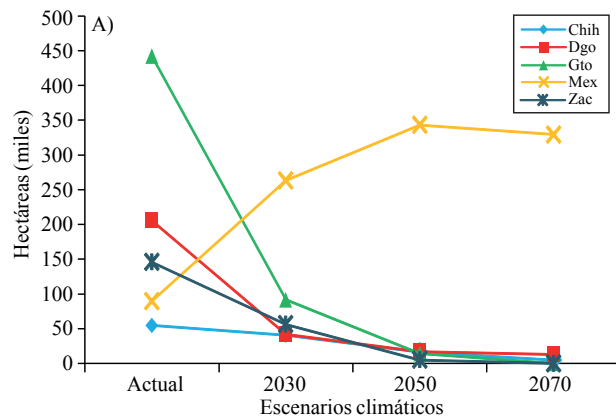
Los resultados obtenidos podrían utilizarse en la planeación o en el diseño de estrategias para enfrentar el cambio climático en las áreas productoras de frijol, como pudiera ser

These results could be used in planning or designing strategies to address climate change in bean producing areas, as might be seeking new bean varieties that adapt to higher temperature and tolerant to low moisture availability conditions.

Conclusions

The high potential areas of bean under rainfed in Mexico will decrease as climate scenarios moves to the future, passing from 1 million 887 thousand hectares in the reference

la búsqueda de nuevas variedades de frijol que se adapten a condiciones de temperatura mayor y tolerantes a condiciones de poca disponibilidad de humedad.



climatology to 1 million 121 thousand hectares in 2070 from RCP 4.5; surface with medium potential will increase in climatology 2030 and then decrease in the following years.

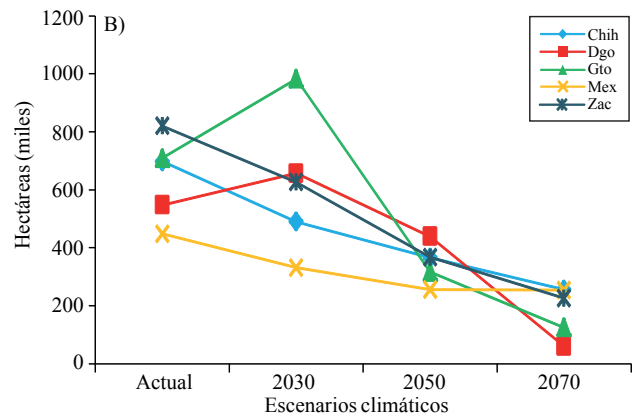


Figura 5. Superficie de potencial productivo alto (A) y medio (B) de frijol de temporal ciclo PV, bajo las condiciones climáticas promedio y en las climatologías del RCP 8.5, en diferentes estados del país.

Figure 5. High (A) and medium (B) potential production of bean under rainfed PV cycle, under current average weather conditions and climates from RCP 8.5, in different states.

Conclusiones

La superficie de alto potencial de frijol de temporal en México disminuirá conforme se avanza en los escenarios climáticos hacia el futuro, pasando de 1 millón 887 mil hectáreas en la climatología de referencia a 1 millón 121 mil hectáreas en el año 2070 del RCP 4.5; la superficie con potencial medio aumentará en la climatología 2030 y luego disminuirá en las siguientes.

Los resultados de este estudio pueden servir de base en el diseño de estrategias, para enfrentar el cambio climático en las áreas productoras de frijol de temporal en México, como pudiera ser la generación de nuevas variedades que se adapten a mayores niveles de temperatura y evapotranspiración.

Agradecimientos

Este artículo es producto del Proyecto INIFAP- 1228033017: cambio climático y su impacto sobre el rendimiento, producción y viabilidad del cultivo de maíz en las áreas agrícolas de México.

The results from this study can serve as a basis to design strategies to address climate change in bean producing areas under rainfed in Mexico, as could be the generation of new varieties that adapt to higher temperature and evapotranspiration.

End of the English version



Literatura citada

- Aguilar, R. N.; Galindo, M. G.; Fortanelli, M. J. y Contreras, S. C. 2010. Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región de Huasteca (México). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 11(2):144-154.
- Attipalli, R. R.; Girish, K. R. and Agepati, S. R. 2010. The impact of global elevated CO₂ concentration on photosynthesis and plant productivity. *Curr. Science*. 99(1):46-57.
- Díaz, P. G.; Medina, G. G.; Ruiz, C. J. A. y Serrano, A. V. 2008. Potencial productivo del cultivo de canola (*Brassica napus* L.) en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, México. Publicación técnica Núm. 2. 67 p.
- Durán, P. N.; Ruiz, C. J. A.; González, E. D. R. y Ramírez, O. G. 2014. Impact of climate change on grasses cultivation potential of three altitudinal strata-agricultural lands of México. *AJAR*. 9(18):1396-1406.

- González, E. D. R.; Ruiz, C. J. A.; Lépiz, I. R.; González, A. A.; López, A. E.; Ramírez, O. G.; Zarazúa, V. P. y Durán, P. N. 2011. Expectativas de adaptación al cambio climático de tres variedades de frijol en Jalisco. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2*:337-350.
- Hatfield, J. L.; Boote, K. J.; Kimball, B. A.; Ziska, L. H.; Izaurralde, R. C.; Ort, D.; Thomson, A. M; and Wolfe, D. 2011. Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. *Agron. J.* 103:351-370.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers. *In*: Stocker, T. F.; Dahe, Q.; Gian-Kasper, P.; Melinda, M. B.; Tignor; Simon, K. A.; Judith, B.; Alexander, N.; Yu, X.; Bex, V. and Midgley, M. P. (Eds.). Switzerland. 27 p.
- Liu, D.; Wan, F.; Guo, R.; Li, F.; Cao, H. and Suna, G. 2011. GIS-based modeling of potential yield distributions for different oat varieties in China. *Mathematical and Computer Modelling.* 54:869-876.
- Magaña, V. and Caetano, E. 2007. Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Informe final de proyecto de investigación. Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM- Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D. F., 41 p.
- Medina, G. G.; Ruiz, C. J. A.; Martínez, P. R. A. y Ortiz, V. M. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. *Agríc. Téc. Méx.* 23(1):69-90.
- Medina, G. G.; Zegbe, D.; Mena, C.; Gutiérrez, L. R.; Reveles, H. M.; Zandate, H. R.; J.; Ruiz, C. J. A.; Díaz, P. G. y Luna, F. M. 2009. Potencial productivo de especies agrícolas en el distrito de desarrollo rural Zacatecas, Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Zacatecas, Calera de V. R., Zacatecas., México. Publicación técnica Núm. 3. 209 p.
- Medina-García, G.; Ruiz-Corral, J. A.; Ramírez-Legarreta, M. R. y Díaz-Padilla, G. 2011. Efecto del cambio climático en la acumulación de frío en la región manzanera de Chihuahua. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2*:195-207.
- Ojeda-Bustamante, W.; Sifuentes-Ibarra, E.; Iñiguez-Covarrubias, M. y Montero-Martínez, M. J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia* 45(1):1-11.
- 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 de proyecto INIFAP-INE. Guadalajara, Jalisco. 108 p.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Ramírez, D. J. L.; Flores, L. H. E.; Ramírez, O. G.; Manríquez, O. J. D.; Zarazúa, V. P.; González, E. D. R.; Díaz, P. G. y Mora, O. C. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2*:309-323.
- SIACON (Sistema de Información Agropecuaria de Consulta). 1980-2013. SAGARPA. 2014. México, D. F. <http://www.siap.gob.mx/siacon>.
- Tejeda, M. A. y Rodríguez, V. L. 2007. Estado de la investigación de los aspectos físicos del cambio climático en México. *Investigaciones Geográficas. Boletín.* 62:31-43.
- Tinoco-Rueda, J. A.; Gómez-Díaz, J. D. y Monterroso-Rivas, A. I. 2011. Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana.* 29(2):161-168.
- Walton, D.; Meyerson, J. and Neelin, J. D. 2013. Accessing, downloading, and viewing CMIP5 data. *Earth System Grid Federation.* 25 p.
- Woodhouse, C. A.; Meko, D. M.; MacDonald, G. M.; Stahle, D. W. and Cook, E. R. A. 2010. 1 200 year perspective of 21st century drought in southwestern North America. *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* 107:21283-21288.
- Zarazúa-Villaseñor, P.; Ruiz-Corral, J. A.; González-Eguiarte, D. R.; Flores-López, E. H. y Ron-Parra, J. 2011. Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2*:295-308.