

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y RADIACIÓN SOLAR EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

INFLUENCE OF TEMPERATURE, PRECIPITATION AND SOLAR RADIATION ON MAIZE YIELD IN THE VALLEY OF TOLUCA MÉXICO

Alejandro Morales-Ruiz*, Ernesto Díaz-López

Ingeniería en Agricultura Sustentable y Protegida. Universidad Tecnológica de Tehuacán, Pro-longación de la 1 sur No. 1101 San Pablo Tepetzingo Tehuacán Puebla, México. C.P. 75859.
(alejandro.morales@uttehuacan.edu.mx)

RESUMEN

Los factores ambientales y su variación influyen en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en valles altos como el de Toluca, México. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la temperatura, precipitación y radiación en los ciclos de cultivo 2008, 2009 y 2010 en el rendimiento de seis cultivares de maíz. La hipótesis fue que temperatura, precipitación y radiación solar en el valle de Toluca afectarán positiva y significativamente el rendimiento de maíz. El estudio se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo, Piedras Blancas (UAE-Mex). Los datos de las normales climatológicas estudiadas se obtuvieron de la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Comisión Nacional del Agua, estación Calixtlahuaca y del Centro de Investigación de Ciencias Agrícolas de la UAEMex. Estos datos se analizaron con ANDEVA ($p < 0.05$), y el diseño experimental fue completamente al azar. Los tratamientos fueron los años y tres datos de cada variable fueron las repeticiones. Los resultados indicaron que existieron diferencias significativas en precipitación, pero las diferencias en temperatura y radiación no fueron significativas. La precipitación mayor (941.3 mm) ocurrió en 2008 y superó estadísticamente a 2009, (750 mm) y 2010 (579.3). La disminución de la lluvia en 2009 y 2010, respecto a 2008, fue 20.3 y 38.4%. El rendimiento de maíz mayor (1132.6 g m⁻²) se obtuvo en 2008 porque la disponibilidad mayor de lluvia durante el ciclo del cultivo coincidió con el llenado de grano, en un efecto de sincronización con las etapas fenológicas R₃ y R₆. La conclusión es que la heterogeneidad en la precipitación limitó el rendimiento del cultivo, así como la duración del ciclo.

Palabras clave: *Zea mays* L., normales climatológicas, precipitación, temperatura, radiación, rendimiento de maíz.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2018. Aprobado: octubre, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 377-385. 2020.

ABSTRACT

Environmental factors and their variation affect growth, development and yield of maize (*Zea mays* L.) in high valleys such as the Valley of Toluca, Mexico. The objective of this study was to evaluate the effect of temperature, precipitation and radiation on the 2008, 2009, and 2010 crop cycles on the yield of six maize cultivars. The hypothesis was that temperature, precipitation and solar radiation in the Valley of Toluca will positively and significantly affect maize yield. The study was conducted in the Facultad de Ciencias Agrícolas of the Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo, Piedras Blancas (UAE-Mex). The data of the climate normals under study were obtained from the meteorological station of the Facultad de Ciencias Agrícolas, Comisión Nacional del Agua, Calixtlahuaca Station, and the Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas (UAEMex). These data were analyzed with ANOVA ($p \leq 0.05$), and the experimental design was completely randomized. Treatments were the years and three data of each variable were the replications. Results indicated that there were significant differences in precipitation, but differences in temperature and radiation were not significant. The highest precipitation (941.3 mm) occurred in 2008 and statistically surpassed that of 2009 (750 mm) and 2010 (579.3 mm). Rainfall was reduced in 2009 and 2010 by a 20.3 and a 38.4% decrease, compared to 2008. The greatest maize yield (1132.6 g m⁻²) was obtained in 2008 because greater availability of rainfall within the crop cycle coincided with grain fill; this was an effect of synchronization with the R₃ and R₆ phenological stages. Thus, we concluded that heterogeneity in precipitation limited maize yield, and also the extent of the crop cycle.

Key words: *Zea mays* L., climate normals, precipitation, temperature, radiation, maize yield.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es básico en la alimentación humana (Lardizabal, 2012), ya que aporta carbohidratos de fácil digestión y es fuente de energía para las funciones celulares (Castañeda, 2011). También se utiliza como forraje, para la extracción de grasas y la síntesis de biocombustibles, como etanol E_5 y E_{10} (Núñez y Ayala, 2009). La disponibilidad del grano para abastecer los usos anteriores recibe influencia de elementos del ambiente como: la precipitación pluvial, temperatura y radiación solar (Garay y Cruz 2015).

El rendimiento de los cultivos es el resultado de la interacción entre el genotipo y el ambiente; a partir de ella, al fenotipo lo determina la ecuación $F = A + G + (GA)$, donde: F es el fenotipo, A el ambiente, G el genotipo y (GA) es la interacción entre el genotipo y el ambiente (Márquez, 1992). El ambiente es uno de los factores que determina el establecimiento de una especie agrícola en un lugar determinado. El ambiente se define desde el punto de vista biológico como un conjunto de cinco grupos que interactúan holocenóticamente entre sí; es decir, que ninguno actúa de manera independiente.

Estos grupos en orden de importancia son: climático, edáfico, geográfico, bióticos y pírco (Krebs, 1999; Biasutti y Galiñanes, 2001; Sutton y Harmon, 2001; Osuna *et al.*, 2008). De los anteriores, quizá el que tiene mayor influencia sobre los cultivos es el climático, y está definido por la temperatura y la precipitación del lugar, además de la radiación incidente, (Monasterio *et al.*, 2008; Olivera, 2013). La temperatura de un lugar obedece a la radiación y a la exposición del sitio a la masas de viento, aguas, corrientes marinas y la topografía, lo que provoca dos tipos de variación; vertical y horizontal (Casas y Alarcón, 1999; Rodríguez *et al.*, 2004). La precipitación es otra característica ambiental que depende de la latitud, altitud y topografía. Aunque Ortíz (1986) señaló que el periodo de lluvias, así como las estaciones del año, se originan por la inclinación de la tierra ($23^\circ 27'$) en su eje, lo cual limita las zonas agrícolas y las fechas de siembra.

La radiación solar es la cantidad de energía radiante que emite el sol y llega a la superficie terrestre. La latitud y la nubosidad de un sitio limitan la radiación porque a mayores latitudes, debido al ángulo de incidencia, los rayos solares tienen que atravesar

INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is basic human food (Lardizabal, 2012) that supplies easily digested carbohydrates and it is an energy source for cell functions (Castañeda, 2011). It is also used as forage, for extraction of fats and synthesis of biofuels such as ethanol E_5 and E_{10} (Núñez and Ayala, 2009). The availability of grain to meet these demands is affected by environmental elements such as rainfall, temperature and solar radiation (Garay and Cruz 2015).

Crop yield is the result of the interaction between the genotype and its environment. From these elements, phenotype is determined by the equation $F = E + G + (GE)$, where F is the phenotype and E is the environment, G is the genotype, and (GE) is the interaction between genotype and environment (Márquez, 1992). The environment is one of the factors that determine establishment of a crop species in a given location. It is defined, from a biological point of view, as a set of five groups that interact with each other holocenotically; that is, none acts independently.

These groups in order of importance are climatic, edaphic, geographic, biotic and pyric (Krebs, 1999; Biasutti and Galiñanes, 2001; Sutton and Harmon, 2001; Osuna *et al.*, 2008). Of these, perhaps the one that most affects crops is climate, which is defined by on-site temperature and precipitation, as well as incident solar radiation (Monasterio *et al.*, 2008; Olivera, 2013). Temperature follows radiation and on-site exposure to winds, water, oceanic currents and topography, which cause two types of variation: vertical and horizontal (Casas and Alarcón, 1999; Rodríguez *et al.*, 2004). Another environmental feature is precipitation, which is dependent on latitude, altitude and topography. Although Ortíz (1986) indicated that the rainy season, as well as the seasons of the year, are due to the inclination of the earth's axis ($23^\circ 27'$), which delimits agricultural zones and planting dates.

Solar radiation is the amount of radiant energy emitted by the sun that reaches the Earth's surface. Latitude and the cloud cover on a given location limit radiation because at higher latitudes and due to the angle of incidence, sunrays get through a greater width of the atmosphere. This limitation causes the amount of incident energy to decrease, although this

una amplitud mayor de la capa atmosférica. Esta limitación causa una disminución en la cantidad de energía incidente, aunque esto no ocurre en latitudes cercanas al ecuador. Sin embargo, en altitudes mayores repercute en el fotoperiodo y afecta también la distribución de especies vegetales, las cuales tienden a adaptarse al medio con cambios morfológicos, anatómicos y fisiológicos en respuesta plástica a dicho factor (Torres, 2011; Taiz y Zeiger, 2002).

El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la temperatura, la precipitación y la radiación solar en el rendimiento de seis cultivares de maíz en el valle de Toluca, México. La hipótesis fue que temperatura, precipitación y radiación solar afectarán positiva y significativamente el rendimiento agronómico de cultivares de maíz en tres densidades de siembra en el valle de Toluca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus El Cerrillo, Piedras Blancas, 19° 24' N, 99° 54' O y 2611 m de altitud. El clima es Cw1 (w')eg, que corresponde a templado con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, precipitación mayor a 600 mm y menor a 1200 mm, cuyo régimen de lluvia abarca de mayo a septiembre, con presencia de sequía intraestival (canícula). La oscilación de la temperatura es mayor a 7 °C y menor a 14 °C; el mes más cálido es mayo, antes del solsticio de verano (García, 2005).

El germoplasma utilizado consistió de cariósides de seis cultivares de maíz, tres de polinización libre (Jiquipilco, Cacahuacintle y Amarillo Almoloya) y tres híbridos (Cóndor, H-50 y Z-60), los cuales se sembraron en 2008, 2009 y 2010, en tres densidades. El diseño experimental fue bloques completos al azar, con arreglo de parcelas divididas. Las parcelas experimentales fueron cinco surcos de 5 m de largo, separados por 0.80 m. La parcela útil fue el surco central con 1 m de distancia para eliminar el efecto de borde.

En el análisis, los cultivares fueron la parcela grande (alfa) y las densidades fueron la parcela chica (beta). Estos se evaluaron con el modelo matemático $Y_{ijk} = \mu + B_k + \alpha_i + U_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$, donde Y_{ijk} es la variable respuesta del i -ésimo cultivar en la j -ésima densidad del k -ésimo bloque; μ , es la media general verdadera; B_k , es el efecto del k -ésimo bloque o repetición; α_i , es el efecto del i -ésimo cultivar (parcela grande); U_{ik} , es el error aleatorio de la parcela grande; β_j , es el efecto de la j -ésima densidad (parcela chica); $(\alpha\beta)_{ij}$ es la interacción cultivar $\times$ densidad

does not occur at latitudes close to the equator. But at higher latitudes it has repercussions on photoperiod and plant species distribution, because species must adapt to the environment through morphological, anatomic and physiological changes in a plasticity response to this factor (Torres, 2011; Taiz and Zeiger, 2002).

The objective of this study was to determine the effects of temperature, rainfall and solar radiation on the yield of six maize cultivars grown in the Valley of Toluca, Mexico. The hypothesis was that temperature, precipitation and solar radiation will positively and significantly affect agronomic yield of maize cultivars grown at three plant densities in the Valley of Toluca.

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted in the experimental fields of the Facultad de Ciencias Agrícolas of the Universidad Autónoma del Estado de Mexico, Campus El Cerrillo, Piedras Blancas, 19° 24' N, 99° 54' W, at an altitude of 2611 m. The climate is Cw₁(w')eg, which is temperate with a mean annual temperature from 12 to 18 °C, precipitation above 600 mm and lower than 1200 mm; the precipitation regime is from May to September with a short mid-summer drought (a.k.a. *canícula*). Temperature oscillation is greater than 7 °C and less than 14°C. The hottest month is May, before the summer solstice (García, 2005).

The germplasm used consisted of caryopses of six maize cultivars: three free-pollinating (Jiquipilco, Cacahuacintle and Amarillo Almoloya) and three hybrids (Cóndor, H-50 and Z-60). These cultivars were planted in 2008, 2009 and 2010 at three densities. The experimental design was a divided plot arrangement within complete randomized blocks. Five rows 5 m long separated by 0.80 m were experimental plots. And the useful plot was the central row at a distance of 1 m to eliminate the border effect.

In the analysis, cultivars were the large plot (alpha) and densities were the small plot (beta). These were evaluated with the mathematical model $Y_{ijk} = \mu + B_k + \alpha_i + U_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$, where Y_{ijk} is the response variable of the i -th cultivar at the j -th density of the k -th block; μ is the true general mean; B_k is the effect of the k -th block or replication; α_i is the effect of the i -th cultivar (large plot); U_{ik} is the random error of the large plot; β_j is the effect of the j -th density (small plot); $(\alpha\beta)_{ij}$ is the interaction cultivar $\times$ density; and ε_{ijk} is the experimental error of the i -th cultivar at the j -th density of the k -th replication (Cochran and Cox, 1990; Infante and Zarate, 1999).

y ε_{ijk} , es el error experimental del i -ésimo cultivar en la j -ésima densidad de la k -ésima repetición (Cochran y Cox 1990; Infante y Zarate 1999).

Durante el experimento se registraron las etapas fenológicas V_n , que corresponden a las etapas vegetativas, R_n , reproductivas, con énfasis en la etapa R_3 , el estado del grano lechoso y R_6 , madurez fisiológica; con base en las claves de Torres (2011).

Para determinar diferencias significativas entre años en las variables temperatura, precipitación y radiación, como diseño experimental completamente al azar se realizó un ANDEVA de las normales climatológicas que se evaluaron con el modelo matemático: $Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$, donde Y_{ij} es la variable respuesta del i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición; μ , es la media general verdadera; T_i es el efecto del i -ésimo tratamiento; ε_{ij} es el error experimental del i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

La variable respuesta de esta etapa del experimento fue el rendimiento del maíz el cual se determinó pensando el grano de 10 mazorcas con humedad del 14% y se obtuvo el promedio correspondiente de una muestra representativa de 1 m² (Steel y Torrie, 2005). A las variables significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagramas ombrotérmicos en 2008, 2009 y 2010

La temperatura máxima ($T_{\max}$) en el 2008 fluctuó entre 24.4 y 18.4 °C y presentó oscilación de 6 °C; así, el valor mayor de $T_{\max}$ ocurrió en la primera decena de mayo, y la $T_{\max}$ menor durante la primera decena de julio (Figura 1). La temperatura mínima ($T_{\min}$) osciló de 5 a 9.6 °C, con una variación de 4.6 °C, el valor mínimo extremo de temperatura mínima se presentó en la tercera decena de mayo y el límite mayor de $T_{\min}$ se registró en la segunda decena de septiembre. En el 2009 la oscilación de las temperaturas máximas y mínimas fue de 6.5 y 5.4 °C, respectivamente. Una tendencia similar ocurrió también en el 2010 (Figura 1).

La precipitación mayor y con mejor distribución ocurrió durante el ciclo del cultivo en 2008. En 2009 los volúmenes mayores se registraron en la tercer decena de junio y la primera de septiembre; mientras que en 2010 la precipitación mayor fue en julio (Figura 1). La precipitación en 2008 coincidió con la floración masculina y femenina del cultivo, a diferencia de los años subsecuentes. En estas condiciones de precipitación y temperatura durante los tres años de estudio, el cultivo alcanzó la madurez fisiológica sin limitaciones.

During the experiment the following phenological stages were recorded: V_n , vegetative stages; and R_n , reproductive stages; with emphasis on stage R_3 , the milky grain stage, and R_6 physiological maturity; based on the classification keys of Torres (2011).

In order to determine significant differences among years for the variables temperature, precipitation and radiation, following a completely randomized experimental design, an ANOVA was performed on the climate normals, which were evaluated with the mathematical model $Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$, where Y_{ij} is the response variable of the i -th treatment in the j -th replication; μ is the true general mean; T_i is the effect of the i -th treatment; ε_{ij} is the experimental error of the i -th treatment in the j -th replication.

The response variable at this stage of the experiment was maize yield, which was determined by weighing the grain from 10 ears with 14% humidity and the corresponding average was calculated from a representative sample of 1 m² (Steel and Torrie, 2005). For the significant variables, means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Ombrothermic diagrams in 2008, 2009 and 2010

Maximum temperature ($T_{\max}$) in 2008 fluctuated between 24.4 and 18.4 °C with an oscillation of 6 °C. The highest $T_{\max}$ occurred in the first group of ten days in May and the lowest $T_{\max}$ during the first group of ten days in July (Figure 1). Minimum temperature ($T_{\min}$) oscillated from 5 to 9.6 °C with a variation of 4.6 °C. The lowest $T_{\min}$ during the crop cycle occurred in the third group of ten days in May, and the maximum $T_{\min}$ limit was recorded in the second group of ten days in September. In 2009, maximum and minimum temperatures fluctuated with oscillations of 6.5 and 5.4 °C, respectively. A similar trend also occurred in 2010. (Figure 1).

The highest and best distributed rainfall occurred during the 2008 crop cycle. In 2009, greater volumes were recorded in the third group of ten days in June, and in the first group of ten days in September, while in 2010 the highest rainfall was in July (Figure 1). Rainfall in 2008 coincided with masculine and feminine maize flowering, unlike those subsequent years. Under these conditions of rain and temperature during the three years of study, the crop attained physiological maturity with no limitations.

Our data coincide with those reported by Díaz *et al.* (2013) and Contreras *et al.* (2012), who indicated

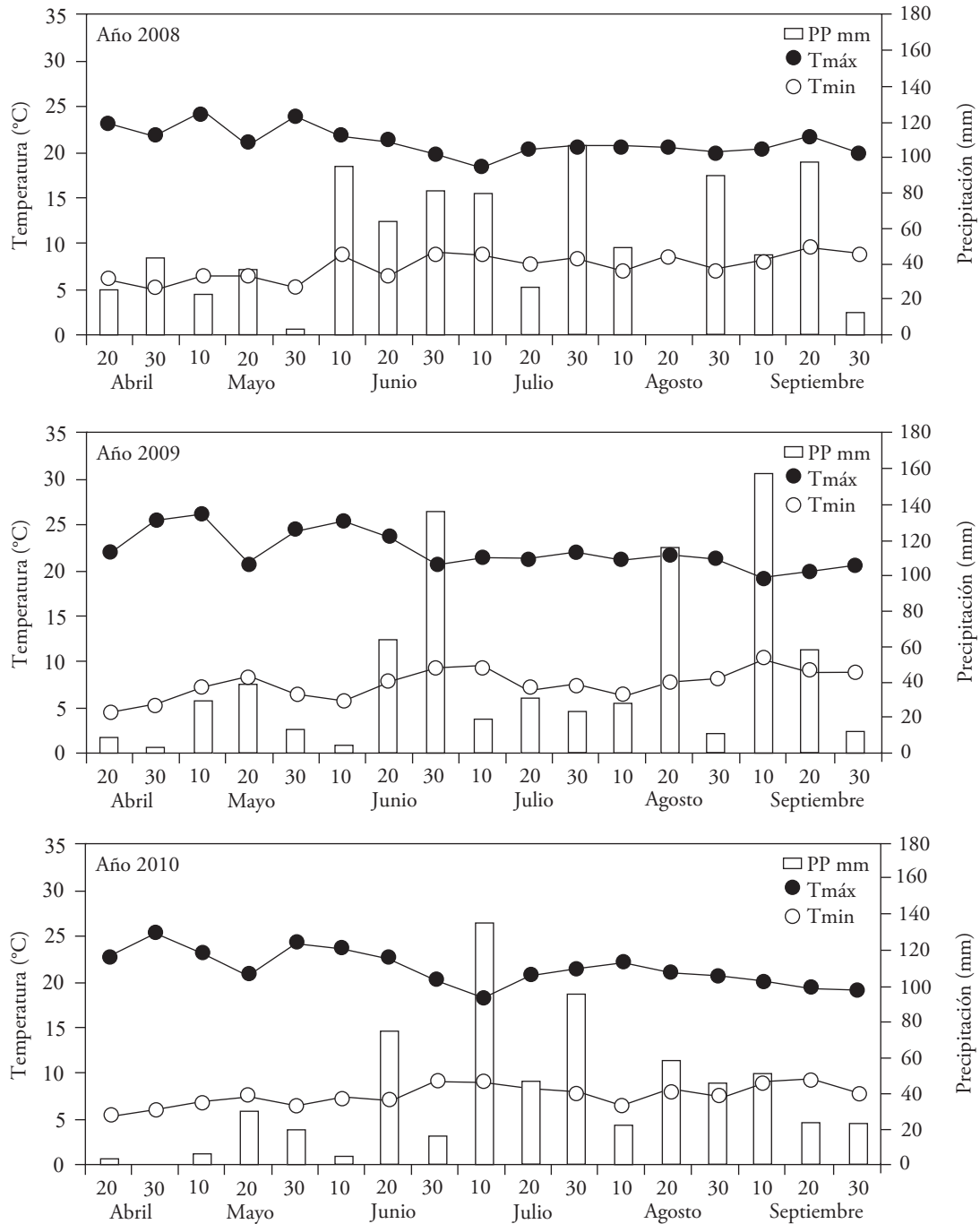


Figura 1. Distribución del promedio decenal de las temperaturas máximas y mínimas y la suma decenal de la precipitación en el valle de Toluca, México; en los ciclos de cultivo de maíz 2008, 2009 y 2010.

Figure 1. Distribution of 10d- averages in maximum and minimum temperatures and the 10d- sum of precipitation in the Valley of Toluca, Mexico, during the maize crop cycles 2008, 2009 and 2010.

Los datos de nuestra investigación coinciden con los reportados por Díaz *et al.*, (2013) y Contreras *et al.* (2012), quienes señalaron que las temperaturas máximas y mínimas para la zona de estudio fluctúan entre 5.9 y 24 °C, con una precipitación de 750 a 1200 mm. Esta congruencia de los datos se debe a que los estudios se realizaron en el mismo lugar, aunque en diferentes años; lo cual muestra la estabilidad del temporal en el sitio, a través de las normales climatológicas.

Rendimiento en relación con radiación fotosintéticamente activa, temperatura y precipitación

El rendimiento del maíz se analizó en relación con las variables radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura y precipitación (Figura 2). El rendimiento no fue afectado por las variables radiación y temperatura, ya que ambas están estrechamente correlacionadas; sin embargo, la precipitación fue significativa. La precipitación mayor (941.3 mm) ocurrió en el año 2008, y en 2009 y 2010 disminuyó 20.2 y 38.5%, respectivamente; el rendimiento mostró estadísticamente el mismo comportamiento. El rendimiento de maíz mayor se obtuvo en 2008 (1132 g m⁻²), y fue menor en 2009 (951 g m⁻²) y 2010 (964 g m⁻²). Esto coincide con Bergamaschi *et al.* (2006), quienes indicaron que el déficit hídrico causa impacto mayor sobre el rendimiento de grano cuando se presenta durante la floración.

Además, Luna (2010) mencionó que el rendimiento medio de grano en maíz en la zona de Zacatecas varió significativamente debido a la diferencia en la cantidad y distribución de la precipitación. Lafitte y Edmeades (1994; citados por Yzarra *et al.*, 2010) indicaron que el cultivo de maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuidos durante su ciclo para llegar a madurez fisiológica.

Análisis de varianza y comparación de medias para las normales climatológicas

Las diferencias en precipitación fueron significativas, pero no así en temperatura y radiación (Cuadro 1). Esto indicó poca variación en las variables meteorológicas durante el desarrollo de la investigación. Respecto a la comparación múltiple de la precipitación, la mayor ocurrencia fue durante el 2008,

that maximum and minimum temperatures for the study region fluctuate between 5.9 and 24 °C with precipitation of 750 to 1200 mm. This consistency in data occurs because the studies were conducted in the same location, although in different years; showing the rainfed season stability on the site, through the records of the climate normals.

Yield in relation to photosynthetically active radiation, temperature and precipitation

Maize yield was analyzed in relationship to the variables (RFA) photosynthetically active radiation, temperature and precipitation (Figure 2). Yield was not affected by radiation or temperature since the two variables are closely correlated. However, precipitation was significant. The highest rainfall (941.3 mm) occurred in 2008, while in 2009 and 2010 it was 20.2 and 38.5% lower, respectively, and yield showed statistically the same behavior. The highest maize yield was obtained in 2008 (1132 g m⁻²); and it was lower in 2009 (951 g m⁻²) and 2010 (964 g m⁻²). This result is consistent with Bergamaschi *et al.* (2006), who found water deficit has a greater impact on grain yield when it occurs during flowering.

In addition, Luna (2010) reported that mean yield of maize grain in the state of Zacatecas varied significantly due to the difference in quantity and distribution of rainfall. Lafitte and Edmeades, (1994), cited by Yzarra *et al.*, (2010) indicated that maize needs at least 500 to 700 mm of well-distributed rainfall during crop cycle to attain physiological maturity.

Analysis of variance and comparison of means on climate normals

Differences in precipitation were significant, but those in temperature and radiation were not (Table 1). This indicated little variation in meteorological variables during the term of the research. Regarding the multiple comparison of precipitation, the highest occurrence was that of 2008, 941.3 mm along the crop cycle, statistically surpassing those of the other two years. In 2009, precipitation was 750 mm, and in 2010 rainfall record was only 579.3 mm. Rainfall decrease in 2009 and in 2010, compared to 2008, were 20.3 and 38.4%, respectively.

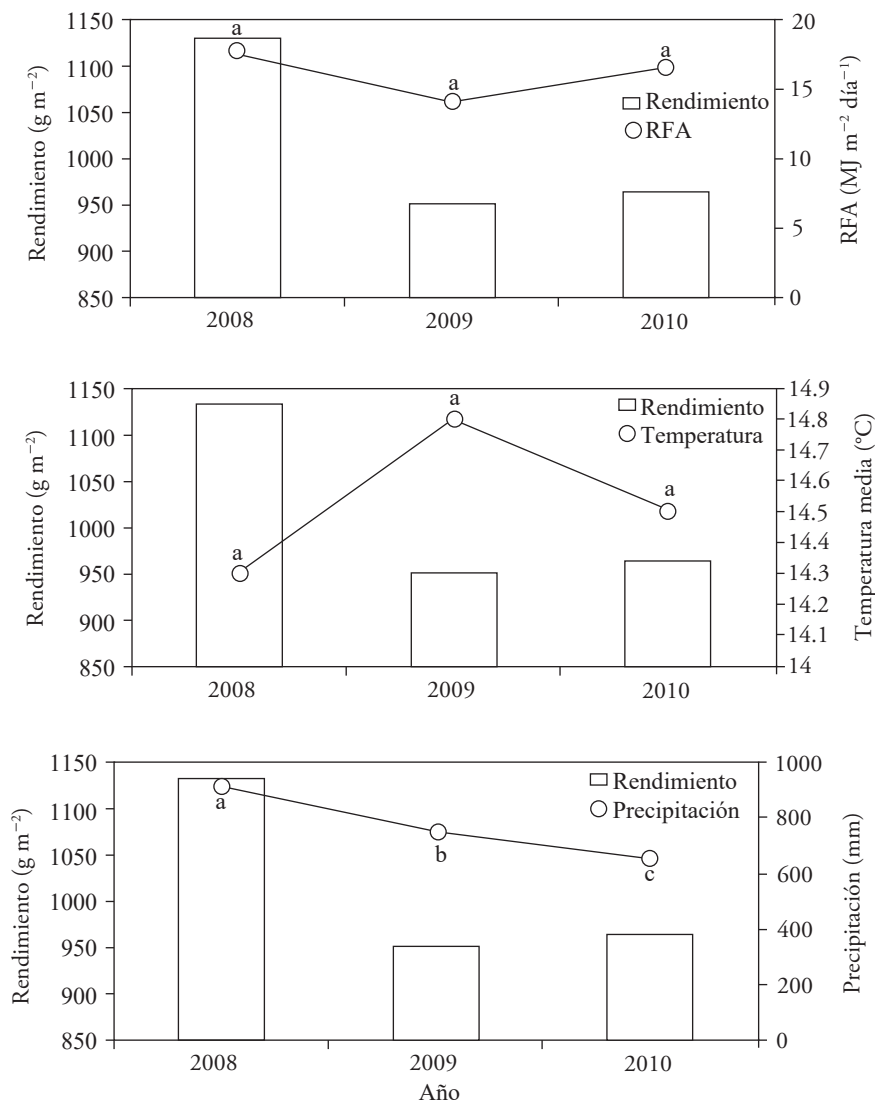


Figura 2. Rendimiento de maíz en relación con radiación, temperatura y precipitación en tres años de cultivo (2008 - 2010), en el valle de Toluca, México. RFA, radiación fotosintéticamente activa; MJ, mega Joules; g gramos; m, metro; mm, milímetros. Letras diferentes indican relación estadística significativa ($p \leq 0.05$).

Figure 2. Maiz yield in relation to radiation, temperature and precipitation in three crop years (2008 - 2010) at the Valley of Toluca, Mexico. RFA, photosynthetically active radiation; MJ, mega Joules; g, grams; m, meter; mm, millimeters. Different letters indicate a significant statistical relationship ($p \leq 0.05$).

con 941.3 mm durante el ciclo del cultivo y superó estadísticamente a los otros años. En el 2009 la precipitación fue 750 mm y en 2010 solo se registraron 579.3 mm de lluvia. La disminución de lluvia en 2009 y en 2010 respecto a 2008, fue 20.3 y 38.4%, respectivamente.

Estos eventos del tiempo atmosférico se explican por la presencia del fenómeno del Niño, el cual ocurrió durante agosto en 2009 y redujo la preci-

These weather events can be explained by the presence of El Niño, which occurred in August 2009 and reduced precipitation, while in 2010 it occurred in May, as it is shown by the ombrothermic diagrams (Figure 1). These data agreed with information from the Comisión Nacional del Agua (Mexican National Water Commission) (CONAGUA, 2012) in a national water table data originated by precipitation in 2008, which was higher than those

Cuadro 1. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias, de las normales climatológicas temperatura, precipitación y radiación, en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el valle de Toluca, México, en función del año.

Table 1. Analysis of variance and comparison of means test on the climate normals temperature, precipitation, and radiation in three years (2008-2010) of maize (*Zea mays* L.) cultivation at the Valley of Toluca, Mexico.

Tratamiento	Temperatura °C	Precipitación mm	RFA MJ m ⁻² d ⁻¹
2008	14.3 a	941.3 a	17.7 a
2009	14.8 a	750.0 b	14.2 a
2010	14.5 a	579.3 c	16.5 a
DSH	5.13	138.40	7.51
CV %	13.76	7.30	18.59
ANDEVA	n.s	†	n.s

Medias con letra diferente indican diferencia estadística (Tukey; $p \leq 0.05$). RFA, radiación fotosintéticamente activa; DSH, diferencia significativa honesta; CV, coeficiente de variación; ANDEVA, análisis de varianza; n.s, no significativo. †significativo con $p \leq 0.05$

♦ Means followed by different letters are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$). RFA, photosynthetically active radiation; DSH, honest significant difference; CV, coefficient of variation; ANDEVA, analysis of variance; n.s., not significant. †significant ($p \leq 0.05$).

pitación, mientras que en el 2010 ocurrió durante el mes mayo, como lo muestran los diagramas ombrotérmicos (Figura 1). Los datos se corroboraron con la información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2012) en una lámina nacional originada por la precipitación durante el 2008, superior a 2009 y 2010. Además, coinciden con Ruíz y Pabón (2013) quienes publicaron que un fenómeno de El Niño débil provocó un incremento en las lluvias en 2009 y 2010 en Colombia, mientras que en latitudes superiores a los 15° Norte y Sur pudo ocasionar disminuciones de ligeras a moderadas en la precipitación y como consecuencia, afectar el rendimiento agronómico de los cultivos.

CONCLUSIONES

Las variaciones en la precipitación pluvial en el valle de Toluca afectaron el rendimiento del maíz durante los años 2009 y 2010, ya que en ambos el rendimiento y la precipitación fueron menores que en 2008. Los cambios en la temperatura y la radiación no afectaron el rendimiento de maíz; pero la distribución heterogénea de la precipitación no permitió el rendimiento máximo del cultivo.

Por lo tanto, es necesario considerar estos factores meteorológicos de la zona para el establecimiento del cultivo de maíz. La selección del cultivar más adecuado,

observed in 2009 and 2010. Data also coincides with Ruíz and Pabón (2013), who reported that a weak El Niño occurrence caused an increase on rainfall in Colombia, both in 2009 and 2010; whilst at higher latitudes than 15° North and South, it could cause slight to moderate decrease in precipitation, consequently affecting crop yields.

CONCLUSIONS

Variations in rainfall in the Valley of Toluca affected maize yield during 2009 and 2010. In both years, yield and rainfall were lower than those in 2008. Changes in temperature and radiation did not affect maize yield, but the heterogeneous distribution of rainfall did not allow to reach the maximum crop yield.

Therefore, it is necessary to consider these local meteorological factors when maize cultivation is established. Selection of the most adequate cultivar, which exhibits greater phenotypic plasticity, thus adapting to the heterogeneity of precipitation would be the better choice, since this factor limits the productivity of maize.

—End of the English version—

-----*-----

que presente una mayor plasticidad fenotípica, y se adapte a la heterogeneidad de la precipitación sería la mejor opción, pues este factor limita la productividad del cultivo de maíz.

LITERATURA CITADA

- Bergamaschi B., G. A. Dalmago., F. Comiran., J. I. Bergonci., A. G. Müller., S. Franca., A. O. Santos., B. Radin., C. A. Mene-gasi. e P. G. Pereira. 2006. Déficit hídrico e productividad na cultura do milho. *Pesq. Agrop. Bras.* 41: 243-249.
- Biasutti C. A. y V. A. Galiñanes. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. *Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. Agriscientia.* 18: 37-44.
- Casas C. M. C. y M. Alarcón. 1999. *Meteorología y clima.* Ed. UPC. Barcelona, España. 155 p.
- Castañeda S. A. 2011. Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays* L.). *Temas Selec. Ing. de Alimentos.* 5: 75-83.
- Cochran W. G. y M. Cox G. 1990. *Diseños experimentales.* Ed. Trillas, México, DF. 661 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2012. Programa Nacional Hídrico. 2ª Ed. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF. 163 p.
- Contreras R. A., C. M. Martínez R. y G. Estrada C. 2012. Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 161-169.
- Díaz L. E. J. M. Loeza C., J. M. Campos P., E. J. Morales R., A. Domínguez L., O. Franco M. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia.* 47: 135-146.
- Garay J. A y Cruz C. J. 2015. *El cultivo de maíz en San Luis.* Ed. INTA. Buenos Aires, Argentina 31 p.
- García E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Instituto de Geografía. UNAM. México, DF. 98 p.
- Infante G. S. y G. P. Zarate D. 1990. *Métodos estadísticos: Un enfoque multidisciplinario.* Ed. Trillas. México, DF. 643 p.
- Krebs J. Ch. 1999. *Ecological Methodology.* 2 ed. Benjamin Cummings. San Francisco, CA. USA. 620 p.
- Lardizabal, R. 2012. Producción de maíz bajo el manejo integrado de cultivo. USAID. Honduras. 80 p.
- Luna F. M. 2010. Rendimiento de maíz en un año lluvioso y uno seco. *Inv. Cient.* 6: 1-13.
- Márquez S. F. 1992. *Genotecnia Vegetal. Métodos-Teorías-Resultados.* Tomo I. AGT Editor. México, DF. 357 p.
- Monasterio P., P. García., G. Alejos., A. Pérez., J. Tablante., W. Maturet. y L. Rodríguez. 2008. Influencia de la precipitación sobre el rendimiento de maíz: caso híbridos blancos. *Agron. Trop.* 58: 69-72.
- Núñez G. L. D. y D. A. Ayala O. 2009. Impacto de la producción de bioetanol en el mercado del maíz. Un análisis desde la dinámica de sistemas. *Econ. y Soc.* 14: 105-124.
- Olivera V., S. M. 2013. La productividad del maíz de temporal en México: repercusiones del cambio climático. División de desarrollo sostenible y asentamientos humanos. CEPAL. Santiago de Chile. 24 p.
- Ortiz S. C. A. 1986. *Elementos de Agrometeorología Cuantitativa con Aplicaciones a la República Mexicana.* 3 ed. Chapingo, México. 327 p.
- Osuna A. J. M., J. A. Marroquín J. y E. J. García S. 2008. *Ecología y Medio Ambiente.* COBACH. Hermosillo, Sonora. 116 p.
- Rodríguez J. R. M., A. Benito C. y A. Portela L. 2004. *Meteorología y climatología.* Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. FECYT. Madrid, España. 170 p.
- Ruiz C. A. C. y J. D. Pabón C. 2013. Efecto de los fenómenos El Niño y La Niña en la precipitación y su impacto en la producción agrícola del departamento del Atlántico (Colombia). *Rev. Col. Geog.* 22: 35-54.
- Steel G. D. R., and H. J. Torrie. 2005. *Biostatistics: Principles and Procedures.* 2ª. Ed. McGraw-Hill. México, D.F. 622 p.
- Sutton D. B y N. P. Harmon. 2001. *Fundamentos de Ecología.* Ed. LIMUSA. México, DF. 293 p.
- Taiz L. and E. Zeiger. 2002. *Plant Physiology.* 3 rd. Ed. Sinauer Assoc. Sunderland, MA. USA. 690 p.
- Torres R. E. 2009. *Agrometeorología.* 3a. Ed. Trillas. México, D. F. 320 p.
- Yzarra T. W., I. Trejo, V. y V. Noriega N. 2010. Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú. Universidad Agraria La Molina, Programa de Maíz. Lima, Perú. 90 p.

