

Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal*

Analysis of four variables associated with rainy seasonal in maize cultivation

Mauro Íñiguez-Covarrubias¹, Waldo Ojeda-Bustamante^{1§}, Carlos Díaz-Delgado² y Ernesto Sifuentes-Ibarra³

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec Morelos, México, C. P. 62550. Fax (777) 319 4220. (mic_tlate@hotmail.com), (wojeda@tlaloc.imta.mx). ²Centro interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México (cdiazd@uaemex.mx). ³INIFAP-CIRNO- Campo Experimental Valle del Fuerte, Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa. [§]Autor para correspondencia: wojeda@tlaloc.imta.mx.

Resumen

Caracterizar y conocer las variables: inicio, duración, terminación de la estación lluviosa y la cantidad de precipitación con fines de precisar su magnitud y relacionarlas con la agricultura bajo condiciones de temporal, es y ha sido una preocupación importante para los agricultores y estudiosos de las ciencias agrícolas. En la región centro norte de México este problema se acentúa por la alta variabilidad de la estación lluviosa y la gran dependencia climática de la agricultura de temporal. La metodología indicada recrea cuatro variables climáticas de la estación lluviosa, analizadas por métodos reconocidos, y con base en un análisis probabilístico se asocian a la agricultura del cultivo del maíz de temporal. El estudio fue realizado para la región ubicada en el sur del estado de Zacatecas, México, sobre la estación climatológica Tlaltenango. Se estimó el inicio de la estación lluviosa el 6 de junio y la terminación el 25 de septiembre, duración de 110 días, la relación de variables indica un sitio potencialmente apto para maíces con esa duración, cuyos requerimientos hídricos determinados con la metodología de grados días desarrollo es de 372 mm para todo el ciclo, cuya lámina bruta de 477 mm y una precipitación efectiva 78% se garantizan con una probabilidad de ocurrencia 78.5%, la zona cuenta con al menos 80 días insertos en el periodo

Abstract

Characterize and understand the variables: onset, duration, termination of the rainy season and the amount of precipitation late clarify its magnitude and relate to agriculture under rainfed conditions, is and has been a major concern for farmers and students of the agricultural sciences. In the north central region of Mexico this problem is accentuated by the high variability of the rainy season and heavy reliance on climate-fed agriculture. The methodology outlined four variables recreates weather of the rainy season, analyzed by recognized methods, and based on a probabilistic analysis associated with agriculture rainfed maize. The study was conducted for the region located in the southern state of Zacatecas, Mexico, on Tlaltenango weather station. It was considered the beginning of the rainy season on June 6 and ending September 25, duration of 110 days, the relationship of variables indicates a potentially suitable site for maize with that duration, whose water requirements methodology determined degree days development is 372 mm for the whole cycle, whose gross depth of 477 mm and an effective precipitation 78% guaranteed with a 78.5% probability of occurrence, the area has at least 80 days embedded in the rainy season with probability 98%. We conclude that for

* Recibido: abril de 2013
Aceptado: noviembre de 2013

de lluvias con probabilidad 98%. Se concluye que para fines prácticos, en promedio cuarto de cada cinco años tendrán la cantidad de lluvia garantizada, se recomienda la utilización de esta metodología como herramienta en la toma de decisiones para técnicos y productores agrícolas de la región.

Palabras clave: agricultura de temporal, estación lluviosa, parámetros de lluvia.

Introducción

México es un país tradicionalmente agrícola que cuenta potencialmente con 30 millones de hectáreas con vocación agrícola, que constituye 15% de su superficie total (INEGI, 2009). Anualmente se cultivan en promedio, cerca de 20 millones de hectáreas que representa un promedio de 70% de la superficie agrícola potencial, con un rango de variación anual de 60% a 85% de dicha superficie. La mayor parte de la agricultura se practica bajo condiciones de temporal, totalizando 75% la superficie anualmente establecida.

Siendo la siembra de maíz el principal cultivo en donde cerca de 85% de la superficie de labor se produce mayoritariamente bajo condiciones de temporal. A pesar de ser un país maicero, México enfrenta un grave problema de autosuficiencia de maíz, importando anualmente de 3 a 7 millones de toneladas de las 20 a 26 millones que consume (periodo 1995-2003). Los rendimientos de maíz son bajos con respecto a los potenciales, el rendimiento promedio nacional para riego es 5.2 t ha^{-1} y 2 t ha^{-1} para temporal (Muñoz y Hernández, 2004). Esto muestra las diferencias tecnológicas, edáficas y climáticas de las zonas maiceras de México, siendo el maíz un cultivo muy sensible al estrés hídrico más que otras gramíneas como trigo o sorgo.

La agricultura representa una actividad esencial para el desarrollo del país y la seguridad alimentaria, por ello, es de interés nacional caracterizar su riesgo frente a la variabilidad climática con el propósito de contar con instrumentos cuantitativos de apoyo para definir políticas públicas que identifiquen las regiones agrícolas de alta vulnerabilidad climática. La estimación espacial y temporal de los recursos hídricos disponibles de una región agrícola es la base para una planificación sustentable. La necesidad de estudiar la variabilidad climática, en particular de la lluvia, es crucial en las ciencias agrícolas. Como lo comentó Rolando García sobre la variabilidad del clima: "lo único constante del clima es su variabilidad" (Garduño, 2004).

practical purposes, an average quarter in five years will guarantee the amount of rain; we recommend the use of this methodology as a tool in decision making for technicians and farmers from the region.

Key words: seasonal agriculture, rainy season, rain parameters.

Introduction

Mexico is a traditionally agricultural country that reckons 30 million hectares suitable for agriculture, which constitutes 15% of its total area (INEGI, 2009). Grown annually on average, about 20 million hectares which represents an average of 70% of the potential agricultural area, with a range of annual variation of 60% to 85% of that area. Most agriculture is practiced under rainfed conditions, totaling 75% annually established surface.

As maize planting the main crop where about 85% of the area of work is mainly produced under rainfed conditions. Despite being a maize-country, Mexico faces a serious problem of self-reliance of maize, imported annually from 3 to 7 million tons of 20-26000000 consuming (period 1995-2003). Maize yields are low relative to potential; the national average for irrigation is 5.2 t ha^{-1} and 2 t ha^{-1} for rainfed (Muñoz and Hernández, 2004). This shows the technological differences, soil and climate of the maize growing areas of Mexico, maize cultivation being very sensitive to water stress than other grasses such as wheat or sorghum.

Agriculture is an essential activity for the country's development and food security, therefore, is of national interest to characterize its exposure to climate variability in order to have quantitative tools to support public policies that define identify agricultural regions high climate vulnerability. The spatial and temporal estimation of available water resources in an agricultural region is the basis for sustainable planning. The need to study climate variability, particularly rainfall is crucial in agricultural sciences. As said by Rolando Garcia on climate variability, "the only constant is climate variability" (Garduño, 2004).

Climate vulnerability characterizes seasonal agriculture demand knowledge of the variables of the rainy season. Most of the country has a well-defined rainy season, especially in

Caracterizar la vulnerabilidad climática de la agricultura de temporal demanda el conocimiento de las variables de la estación lluviosa. La mayor parte del país presenta una estación lluviosa bien definida, principalmente en verano, concentrada de mayo a octubre (García, 2003). En efecto, Mosiño y García (1974) reportaron que 70% de la precipitación en México se presenta de mayo a octubre. Por el carácter estacional y variabilidad de la precipitación en las principales zonas maiceras bajo agricultura de temporal, la fechas de inicio y término de la temporada de lluvia son de gran importancia para hacer coincidir el ciclo del cultivo con el mejor periodo de lluvias para alcanzar el mayor potencial productivo (Ati *et al.*, 2002).

El análisis de criterios para definir la estación lluviosa a partir de datos de precipitación ha sido objeto de diversos estudios (Benoit, 1977; Sivakumar, 1988; Oladipo and Kyari, 1993; Bello, 1996; Ati *et al.*, 2002) y donde algunos de éstos han sido reportados por García y Cruz (2008) y por Arteaga-Ramírez *et al.* (2006) para las condiciones de México. Existen dos grandes criterios para definir el inicio y fin de la temporada de lluvias. El primero se basa en el balance diario de humedad del suelo usando algoritmos similares para la calendarización del riego y así definir el impacto de la distribución de la lluvia en la humedad del suelo que permitan generar condiciones favorables para el desarrollo de los cultivos bajo diferentes inicios del periodo de lluvia.

El segundo enfoque se fundamenta en el uso de indicadores climáticos relacionados principalmente con la lluvia acumulada observada de uno o más días (Ojeda, *et al.*, 2012; Arteaga-Ramírez *et al.*, 2006; García y Cruz, 2008). En este segundo grupo se encuentran los indicadores pluviométricos que son los más usados para definir el periodo de lluvias, los cuales consideran un umbral de lluvia acumulada, que deberá ser igual o superior a dicho umbral en un periodo de días preestablecido. Para robustecer los indicadores de lluvia, se han propuesto indicadores climáticos más complejos como la adición de la evapotranspiración de referencia (ET_0) a la lluvia requerida. Para eliminar inicios erróneos en los indicadores de lluvia, usualmente se agregan condicionantes como la no existencia de un periodo consecutivo de días secos después del inicio del periodo de lluvias detectado (Raes *et al.*, 2004). La longitud del periodo de secano o la temporada de lluvia presenta alta variabilidad y es calculada por la diferencia en días del inicio a la finalización de la época de lluvias.

Dado que la única fuente de agua para el cultivo del maíz de temporal es la precipitación, es necesario evaluar si las aportaciones de lluvia satisfacen los requerimientos hídricos

summer, concentrated from May to October (García, 2003). Indeed, Mosino and García (1974) reported that 70% of the rainfall in Mexico occurs from May to October. By the seasonality and variability of precipitation in major maize growing areas under rainfed agriculture, the start and end of the rainy season are very important to match the crop cycle with the best rainy season to reach the greater productive potential (Ati *et al.*, 2002).

Analysis of criteria for defining the rainy season from precipitation data has been the subject of several studies (Benoit, 1977; Sivakumar, 1988; Oladipo and Kyari, 1993; Bello, 1996; Ati *et al.*, 2002) and where some of these have been reported by García and Cruz (2008) and Arteaga-Ramírez *et al.* (2006) for the conditions of Mexico. There are two main criteria to define the start and end of the rainy season. The first is based on the daily balance of soil moisture using similar algorithms for irrigation scheduling and define the impact of rainfall distribution in soil moisture that can generate favorable conditions for crop development under different beginnings rain period.

The second approach is based on the use of climate indicators mainly related to the observed cumulative rainfall of one or more days (Ojeda *et al.*, 2012; Arteaga-Ramírez *et al.*, 2006; García and Cruz, 2008; . In this second group rainfall is an indicator most commonly used to define the rainy season, which consider cumulative rainfall threshold, which must be equal to or greater than this threshold over a period of days prescribed. To strengthen the rain gauges, climatic indicators have been proposed more complex as adding reference evapotranspiration (ET_0) to rain required. To eliminate erroneous early indicators of rain, usually constraints are added as the absence of consecutive dry days after the onset of the rainy detected (Raes *et al.*, 2004). The length of the dry period and the rainy season has high variability and is calculated by the difference in days from inception to completion of the rainy season.

Since the only source of water for rainfed maize is the precipitation, it is necessary to assess the contributions of rain meeting the crop water requirements. To estimate rainfall used the concept of effective rainfall (P_e) according to the recommendations by Dastane (FAO, 1978). A first equation is recommended in Bulletin No. 25, with the U.S. Bureau of Reclamation method Method (Dastane, 1978) and can be applied to arid and semiarid areas, and a second equation $P_e = K_1 P + K_2$, where P is the observed precipitation

del cultivo. Para estimar la lluvia se usó el concepto de lluvia efectiva (P_e) de acuerdo a lo recomendado por Dastane (FAO, 1978). Una primera ecuación es la recomendada en el boletín No. 25, con el método U.S. Bureau of Reclamation Method (Dastane, 1978) y puede ser aplicada para zonas áridas y semiáridas, y una segunda ecuación $P_e = K_1 P + K_2$, donde P es la precipitación observada y K_1 y K_2 con coeficientes que dependen de la magnitud de la lluvia y es la usada por el programa computacional CropWat (Smith, 1992), recomendada por Ojeda *et al.* (2008). Cabe señalar que en este trabajo no se consideran las prácticas agrícolas de cosecha de lluvia que pueda hacer el productor, como aporte para la conservación o concentración de la humedad del suelo.

Los requerimientos hídricos de los cultivos varían, temporal y espacialmente en función de las condiciones ambientales, del manejo de la tierra y cultivo, así como de la fase de crecimiento y de la variedad del cultivo, por lo que su cálculo debe ser local (Doorenbos y Pruitt, 1977). En las guías del cultivo del maíz de temporal se incluyen sugerencias para la preparación del terreno, variedades, época de siembra, método y densidad de siembra, fertilización, labores de cultivo, plagas, enfermedades y cosecha (Luna y Gutiérrez, 2003 y Luna-Flores, 2008); sin embargo, estas guías no analizan localmente la probabilidad de cumplir las demandas hídricas del cultivo en función de la época de siembra.

Por otro lado, la incorporación del concepto de grados días desarrollo para describir los parámetros asociados a las necesidades hídricas del cultivo ha sido aplicado en varios estudios (Ojeda-Bustamante, *et al.*, 2006). Estas investigaciones concluyen que el concepto de grados día desarrollo ($^{\circ}D$) es una potente herramienta para predecir la fenología y desarrollo de los cultivos, con resultados más adecuados al compararlo con otras alternativas como días después de siembra o porcentaje de desarrollo fenológico. El concepto $^{\circ}D$ integra en forma indirecta, a través de la temperatura, la energía calorífica acumulada en las diferentes etapas de desarrollo fenológico de los cultivos. En efecto, con este método es posible expresar el coeficiente de cultivo en función de los días grado acumulado de acuerdo con las ecuaciones propuestas por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). Por lo anterior, el presente trabajo propone el empleo del concepto grados día desarrollo en estudios de agricultura de temporal.

Por otro lado, un falso inicio, o terminación, de la temporada de lluvias tiene impactos económicos para el productor por la inversión realizada y disipada, así como los recursos necesarios para restablecer el cultivo siniestrado.

and coefficients K_1 and K_2 that depend on the magnitude of the rain and is used by the computer program CropWat (Smith, 1992), recommended by Ojeda *et al.* (2008). Note that in this work are not considered agricultural practices rainwater harvesting that can make the producer, as a contribution to the conservation or concentration of the soil moisture.

Water requirements of crops vary temporally and spatially depending on environmental conditions, handling and crop land as well as the growth phase and the variety of the crop, so that the calculation should be local (Doorenbos and Pruitt, 1977). Guides in rainfed maize cultivation include suggestions for site preparation, varieties, planting date, method and planting density, fertilization, tillage, pest, and crop diseases (Luna and Gutiérrez, 2003 and Luna-Flores, 2008); however, these guidelines do not analyze locally the probability of meeting the crop water demands based on the planting season.

On the other hand, the incorporation of the concept of degree day's development to describe the parameters associated with the crop water requirements has been applied in several studies (Ojeda - Bustamante *et al.*, 2006). These investigations concluded that the development concept of degree days ($^{\circ}D$) is a powerful tool to predict phenology and crop development, with adequate results when compared to alternatives such as days after planting or percentage of phenological development. $^{\circ}D$ concept integrates indirectly, through the temperature, heat energy accumulated in the different stages of crop phenological development. In effect, this method can express the crop coefficient based on cumulative degree according to the equations proposed by Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). Therefore, this paper proposes the use of the concept development studies degree days' rainfed.

On the other hand, a false start, or termination of the rainy season has economic impacts to the producer on the investment made and dissipated, and the resources needed to restore the damaged crop. Precisely because the need to characterize the rainy season, the aim of this work is to associate probabilistic criteria under the four variables of the rainy season: start, end, duration, and amount of precipitation while associating with maize agriculture under rainfed conditions, reducing among others, failure events, to estimate the probability of meeting the water demand as a function of the four variables associated with the rainy season.

Precisamente, ante la necesidad de caracterizar la temporada de lluvias, el objetivo del trabajo es asociar bajo criterios probabilísticos las cuatro variables de la estación lluviosa: inicio, terminación, duración, y la cantidad de precipitación y al mismo tiempo asociarlas con la agricultura del maíz bajo condiciones de temporal, reduciendo entre otras, los eventos de fracaso, al estimar la probabilidad de satisfacer la demanda hídrica como función de las cuatro variables asociadas a la estación lluviosa.

Material y métodos

El área de estudio está localizada en el sur del estado de Zacatecas, en la localidad de Tlaltenango de Sánchez Román Zacatecas, México, Figura 1. Ésta zona de cultivo queda representada por la información de la estación climatológica Tlaltenango con clave 032057, latitud: 21.774° latitud norte y 103.309° longitud oeste, cuyos datos fueron extraídos de la base de datos actualizados al 2010 del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Conagua, 2012). La estación se localiza en la cuenca del río Santiago y la región constituye uno de los sistemas hidrológicos más importantes del estado de Zacatecas, México.

La cuenca se ubica en una zona semiárida donde se cultivan bajo temporal los cultivos de frijol, maíz grano, maíz forrajero, y avena forrajera, entre otros. La temporada de lluvias se concentra en las estaciones del verano-otoño, con primaveras e inviernos muy secos. Un periodo corto de lluvias puede presentarse en invierno el cual está asociado con los frentes fríos que se forman en esta época. Los rendimientos de maíz grano bajo temporal son bajos debido a la deficiente precipitación, suelos poco profundos, siembra de variedades tardías, siembras fuera de época óptima, bajas densidades de población, limitada fertilización y ausencia de prácticas de conservación y captación de agua de lluvia (Luna y Gutiérrez, 2000).

Se analizó el periodo de datos disponible, seleccionándose los años con información diaria completa de precipitación, temperatura máxima, mínima y media. Para el caso de estudio, se documentó el periodo 1964-2010 de la estación base 32057 Tlaltenango, Zacatecas donde se cuenta con información completa de 42 años. Con esta información en el Cuadro 1 se resume la estimación de precipitación media: mensual y anual. Se destaca el valor de 713.7 mm como precipitación media anual, y una precipitación media diaria de 1.96 mm.

Materials and methods

The study area is located in the southern State of Zacatecas, in the town of Tlaltenango de Sánchez Román Zacatecas, Mexico, Figure 1. This growing area is represented by the information of the weather station Tlaltenango with 032057 key, latitude: 21° 774 latitude and 103 309° longitude, whose data were extracted from the database updated to 2010 the National Weather Service (NWS) (CONAGUA, 2012). The station is located in the James River basin and the region is one of the major river systems of the state of Zacatecas, Mexico.



Figura 1. Zona semiárida estado de Zacatecas.

Figure 1. Semi-arid area of the State of Zacatecas.

The basin is located in a semi-arid region where they are grown under rainfed crops of beans, maize grain, maize silage, and forage oats, among others. The rainy season is concentrated in the summer and fall seasons, with very dry springs and winters. A short period can occur in winter rainfall which is associated with cold fronts that form at this time. Maize yields under rainfed grain are low due to poor rainfall, shallow soils, planting late varieties, planting outside optimal time, low population densities, limited fertilization and lack of conservation practices and rainwater catchment (Luna and Gutiérrez, 2000).

We analyzed the data period available, selecting the years offering complete daily precipitation, maximum temperature, minimum and mean. For the case study, documented the period 1964-2010 of 32057 base stations Tlaltenango, Zacatecas where complete information is 42. With this information in Table 1 summarizes the estimated average precipitation: monthly and yearly. It highlights the value of 713.7 mm average annual rainfall and average daily rainfall 1.96 mm.

Cuadro 1. Precipitación media y efectiva mensual estación 32057, Tlaltenango, Zacatecas.**Table 1. Average and effective monthly precipitation station 32 057, Tlaltenango, Zacatecas.**

Mes	Lluvia mensual		Lluvia efectiva periodo lluvioso	
	(mm)	Porcentaje (%)	(mm)	Efectiva (mm)
Enero	19.5	2.7		
Febrero	9.3	1.3		
Marzo	3.2	0.4		
Abril	9.5	1.3		
Mayo	19.0	2.7		
Junio	125.5	17.6	125.5	107.9
Julio	194.1	27.2	194.1	120.6
Agosto	153.4	21.5	153.4	120.6
Septiembre	112.4	15.8	112.4	107.9
Octubre	42.7	6.0		
Noviembre	10.8	1.5		
Diciembre	14.3	2.0		
Total	713.7	100.0	585.4	457.0

La determinación de la lluvia efectiva fue determinada por el método US. Bureau of Reclamation Method (Dastane, 1978) con base en la lluvia media mensual. En el Cuadro 1 se presenta la lluvia efectiva estimada a partir de la precipitación media mensual. Para el total de los cuatro meses lluviosos de junio a septiembre, la relación de la lluvia acumulada en relación a la precipitación efectiva es de 78% tal como se presenta en el (Cuadro 1).

Para la determinación de las demandas hídricas de los cultivos se utilizó el método propuesto por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) basado en el concepto de grados días desarrollo (GDD) para el cultivo de maíz. Con fines ilustrativos del método se analiza en el Cuadro 2 tres fechas de siembra del maíz registradas en la región de estudio con diferente duración del ciclo fenológico: 112, 122 y 142 días, en donde T es la temperatura media mensual. Ésta diferencia en la duración del ciclo se asocia a las necesidades hídricas, al rendimiento potencial del maíz y a la probabilidad de cumplir con las necesidades hídricas por las aportaciones de la lluvia para el periodo típico de siembra en la zona de estudio.

Ante la falta de una serie histórica larga de la evapotranspiración de referencia del sitio de estudio, la determinación de los requerimientos hídricos está basada en el concepto de grados día desarrollo ($^{\circ}\text{D}$) de acuerdo a los resultados de Ojeda y Sifuentes (1999) usando datos experimentales de Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). La columna 3 es la temperatura media menos la temperatura base (10°C), la columna 4 los días del mes, la columna 5 son los DGD/mes (columna 3 por columna 4), la columna 7, 9, 10 son GDC/mes, en la fila 14 se

Determining the effective rain was determined by the method of U.S. Bureau of Reclamation Method (Dastane, 1978) based on mean monthly rainfall. Table 1 shows the estimated effective rainfall from the average monthly rainfall. For the total of the four rainy months from June to September, the ratio of the accumulated rainfall in relation to the effective precipitation is 78% as presented in (Table 1).

For the determination of crop water demands used the method proposed by Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) based on the concept of degree days (GDD) for the cultivation of maize. For illustration of the method is analyzed in Table February 3 maize planting dates recorded in the study region with different phenological cycle length: 112, 122 and 142 days, where T is the mean monthly temperature. This difference in cycle length is associated with the water needs, the maize yield potential and the likelihood of meeting the water needs of the contributions of the rain for planting typical period in the study area.

In the absence of a historical series long reference evapotranspiration of the study site, the determination of water requirements is based on the concept of degree day development ($^{\circ}\text{D}$) according to the results of Ojeda and Sifuentes (1999) using data experimental Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). Column 3 is the average temperature minus the base temperature (10°C), column 4 the days of the month, column 5 are the DGD/month (column 3, column 4), column 7, 9, 10 are GDC/month, in line 14 shows the irrigation requirements for three different durations. The requirement for rainfed maize with durations of 112, 122 and 142 days

muestran los requerimientos de riego para las tres diferentes duraciones. El requerimiento necesario para el cultivo del maíz de temporal con duraciones de 112, 122 y 142 días es de 375 mm, 413.9 mm y 440.0 mm, respectivamente usando un coeficiente= 0.31 mm/°D estimado por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). Se propone un coeficiente igual 0.31 mm/°D, ya que las condiciones para Sinaloa el cultivo del maíz fue para el ciclo Otoño Invierno, con temperatura media mensual para el periodo de Diciembre-Abril es de 22 °C (Inifap, Sinaloa, 2005) y las condiciones para Tlaltenango, la temperatura media mensual para el periodo junio-septiembre es de 21 °C en el ciclo primavera-verano (Inifap, Zacatecas 2004). La metodología mostrada para estimar las demandas hídricas del maíz es más robusta si se cuenta con información meteorológica para evaluar con buena precisión las demandas hídricas diarias de los cultivos.

is 375 mm, 413.9 mm and 440.0 mm, respectively, using a coefficient= 0.31 mm/oD estimated by Ojeda-Bustamante *et al.* (2006). It proposes a coefficient of 0.31 mm/oD, since the conditions for Sinaloa maize cultivation was for the Autumn-Winter cycle, with monthly average temperature for the period from December to April is 22 °C (INIFAP, Sinaloa, 2005) and conditions for Tlaltenango, the average monthly temperature for the period from June to September is 21 °C in the spring-summer (INIFAP, Zacatecas 2004). The methodology shown to estimate water demand is more robust maize if weather data are available to assess with reasonable accuracy the daily water demand of crops.

In a first step for determining the rainy season is considered the technique of the cumulative sums of the disturbances, i.e. the difference of daily rainfall over the daily average for

Cuadro 2. Determinación de los requerimientos hídricos con concepto de grados día.

Table 2. Determining water requirements with degree-day concept.

Mes (1)	T, media (2)	DGC (3)	días (4)	DGD /mes (5)	Inicio del ciclo vegetativo					
					10-junio días	DGD /mes (7)	01-junio días	DGD /mes (9)	20-mayo días	DGD /mes (11)
1 Enero	13.3	3.3	31	102.3						
2 Febrero	14.8	4.8	28	134.4						
3 Marzo	16.8	6.8	31	210.8						
4 Abril	19.3	9.3	30	279.0						
5 Mayo	21.8	11.8	31	365.8					10	118.0
6 Junio	22.3	12.3	30	369.0	20	246.0	30	369.0	30	369.0
7 Julio	20.8	10.8	31	334.8	31	334.8	31	334.8	31	334.8
8 Agosto	20.5	10.5	31	325.5	31	325.5	31	325.5	31	325.5
9 Septiembre	20.2	10.2	30	306.0	30	306.0	30	306.0	30	306.0
10 Octubre	18.4	8.4	31	260.4					10	84.0
11 Noviembre	15.9	5.9	30	177.0						
12 Diciembre	14.2	4.2	31	130.2						
13 DGC/ciclo				2995.2		1212.3		1335.3		1419.3
14 Duración ciclo (días)					112		122		142	
15 Requerimientos (mm)/ciclo						375.8		413.9		440.0

En una primera etapa para la determinación de la época de lluvias se consideró la técnica de las sumas acumuladas de las perturbaciones; es decir, la diferencia de las lluvias diarias con respecto al promedio diario anual, para la determinación promedio de inicio, duración y terminación de la época de lluvias. Cabe señalar que García y Cruz (2008) recomiendan usar promedios móviles de 15 días como técnica de suavización de las sumas acumuladas, criterio que utilizaron para el estudio de la región noroeste de México. En consecuencia, con la información climática del periodo 1964-2010 para la estación base 32057 Tlaltenango, Zacatecas, se ordenaron en columna

the average determination of onset, duration and termination of the rainy season. It should be noted that García and Cruz (2008) recommend using 15-day moving averages and smoothing technique cumulative sums, criteria used for the study of the northwestern region of Mexico. Consequently, with climate information for the period 1964-2010 for the base station 32057 Tlaltenango, Zacatecas, ordered column 01-365 day for each year was determined thereupon the daily average of 365 days and applied the method of shocks. The results are shown in Figure 2 where the ordinate represents the Julian 365 days and the abscissa the absolute value of the daily rain mm.

del día 01 a 365 para cada año, acto seguido se determinó la media diaria de los 365 días y se aplicó el método de las perturbaciones. Los resultados se muestran en la Figura 2, donde las ordenadas representan los 365 días del año juliano y las abscisas el valor absoluto de la lluvia diaria en mm.

El segundo método utilizado para la determinación de las variables de inicio, duración y terminación de la época de lluvias por año de la muestra del experimento fue recomendado por (Ojeda, *et al.*, 2012) en un estudio de riesgo a la sequía para la república mexicana. El inicio de la estación se define cuando la lluvia acumulada en 4 días consecutivos es mayor de 20 mm y la terminación cuando la lluvia acumulada después de 15 días consecutivos es menor 20 mm, en este trabajo se abreviará como método ID4F15 (inicio días 04 final 15). Como resultado del punto anterior se obtiene inicio, duración y fin de la época de lluvias, así como la lluvia en el periodo resultante por año de la muestra. Este procedimiento se llevó a cabo para cada uno de los años considerados del periodo 1964-2010 para la estación Tlaltenango, Zacatecas. Los resultados se muestran en el Cuadro 3 y contiene el día y mes de inicio, el día y mes de la terminación, la duración del periodo lluvioso en días, la precipitación total en el año y la correspondiente al periodo de temporal.

Con la información del Cuadro 3, se procedió a la construcción de modelos probabilísticos para las variables del periodo lluvioso: a) precipitación acumulada; b) inicio; c) terminación; y d) duración. Cabe señalar que la función de densidad de probabilidad sugerida para este tipo de variables corresponde al modelo de la función normal, dado que se trata de la suma de valores en los casos de precipitación acumulada y duración del periodo.

Con respecto al modelo aplicable para la distribución de las variables inicio y terminación del periodo lluvioso, bien podría utilizarse una función de densidad de probabilidad Beta; sin embargo, dado que los límites de dichas variables no están definidas con exactitud, ni pueden definirse arbitrariamente, el modelo de la función Normal también resulta aplicable dadas las bajas frecuencias que representarían las fechas poco probables y la gran concentración con respecto a su valor central, es decir la media de la fecha de inicio y final respectivamente. Estas condiciones están soportadas por el comportamiento de las causas meteorológicas de las cuales dependen tanto la precipitación como la temperatura, es decir estas variables son el resultado de la concurrencia de la suma de muchos efectos independientes tal como lo señala Chow *et al.* (1994).

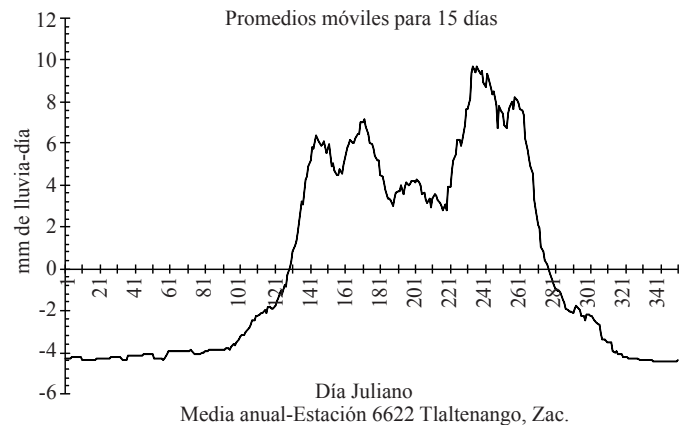


Figura 2. Método de las perturbaciones.

Figure 2. Method of disturbances.

The second method used to determine the variables of onset, duration and termination of the rainy season per year of the sample in the experiment was recommended by Ojeda *et al.* (2012) in a study of drought risk for the republic Mexican. The start of the season is set when the accumulated rainfall in 4 consecutive days is greater than 20 mm and ending when the accumulated rainfall after 15 consecutive days is less than 20 mm, this work will be abbreviated as ID4F15 method (start end 04 days 15). As a result of the previous point is obtained beginning, duration and end of the rainy season and rainfall in the period a year resulting sample. This procedure was carried out for each of the years considered the period 1964-2010 for the season Tlaltenango, Zacatecas. The results are shown in Table 3 and contain the day and month, day and month of termination, the duration of the rainy period in days, total rainfall in the year and for the period of time.

With the information in Table 3, we proceeded to build probabilistic models rainy variables: a) accumulated precipitation; b) home; c) termination; and d) duration. Note that the probability density function suggested for these variables corresponds to the normal function model, since it is the sum of values in cases of cumulative rainfall and period duration.

With respect to the model for the distribution of the start and finish variables rainy period, it could use a probability density function Beta; however, since the limits of these variables are not precisely defined, nor can be set arbitrarily, the Normal function model is also applicable given the low frequencies that represent dates and unlikely high concentration with respect to its central value, i.e. the mean

Cuadro 3. Período de lluvias determinados por el método ID4F15.**Table 3. Rainy season determined by the ID4F15 method.**

	Año	Período del Temporal de lluvias				Duración del periodo (Días)	Lluvia (mm)	
		Inicio Día	Mes	Final Día	Mes		Anual (8)	periodo (9)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	1962	13	Junio	20	Octubre	130	769.5	741.0
2	1963	7	Junio	28	Septiembre	113	1256.6	1130.5
3	1966	10	Junio	18	Octubre	131	926.1	808.8
4	1967	13	Junio	17	Octubre	127	1076.3	954.8
5	1969	21	Junio	3	Octubre	105	646.0	578.0
6	1970	18	Junio	3	Octubre	108	757.2	661.0
7	1971	9	Mayo	19	Octubre	133	998.3	920.3
8	1972	27	Junio	26	Septiembre	122	593.2	534.2
9	1973	30	Junio	30	Septiembre	92	668.9	608.9
10	1974	10	Junio	30	Septiembre	112	624.2	574.2
11	1975	11	Junio	16	Septiembre	97	652.6	598.6
12	1976	11	Junio	8	Octubre	124	637.8	524.3
13	1977	2	Junio	11	Octubre	132	880.7	833.2
14	1978	20	Junio	30	Octubre	133	678.3	635.5
15	1979	2	Junio	15	Septiembre	105	664.9	535.8
16	1980	5	Junio	30	Septiembre	117	857.5	658.7
17	1981	7	Junio	9	Octubre	125	1085.5	781.3
18	1982	1	Junio	15	Septiembre	106	643.5	423.9
19	1983	14	Junio	10	Octubre	119	766.6	614.8
20	1984	11	Junio	2	Octubre	114	477.0	371.0
21	1985	7	Junio	1	Octubre	117	401.0	261.0
22	1987	1	Junio	31	Septiembre	122	559.3	417.8
23	1988	13	Junio	5	Septiembre	84	427.0	396.5
24	1989	25	Junio	23	Septiembre	90	352.0	253.0
25	1990	6	Junio	19	Septiembre	105	769.8	602.5
26	1991	9	Junio	10	Octubre	124	777.2	716.2
27	1992	25	Junio	28	Octubre	126	852.0	545.3
28	1993	15	Junio	14	Octubre	122	709.4	613.9
29	1994	2	Junio	13	Octubre	134	538.8	521.0
30	1995	31	Mayo	26	Septiembre	118	984.6	957.2
31	1996	22	Mayo	7	Octubre	139	715.7	653.9
32	1997	22	Mayo	13	Octubre	145	858.5	657.8
33	1998	6	Junio	13	Octubre	130	470.2	451.9
34	1999	19	Mayo	11	Octubre	148	575.3	558.8
35	2000	22	Mayo	9	Octubre	141	542.2	508.3
36	2001	11	Mayo	4	Octubre	147	680.0	645.2
37	2002	29	Mayo	13	Octubre	138	633.0	564.0
38	2003	24	Mayo	10	Octubre	144	783.5	778.0
39	2006	26	Mayo	16	Octubre	151	723.7	685.0
40	2007	9	Junio	6	Octubre	120	633.6	599.0
41	2009	10	Junio	8	Octubre	121	684.6	556.6
42	2010	13	Junio	28	Septiembre	108	643.5	528.2

El análisis estadístico consiste entonces en estimar, a partir de la información disponible (Cuadro 4) los diferentes parámetros que definirán los modelos de la función de distribución Normal para cada una de las variables en cuestión, es decir obtener los diferentes valores de la media y la varianza

of the start and end date respectively. These conditions are supported by the behavior of the meteorological causes of which depend both rainfall and temperature, i.e. these variables are the result of the sum of many independent effects as noted by Chow *et al.* (1994).

para cada variable a modelar. La bondad de los ajustes obtenidos fueron corroborados con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Springal, 1989). A manera de ejemplo, la Figura 3 muestra el modelo de ajuste y la función de distribución normal para la variable lluvia en el periodo lluvioso.

The statistical analysis is then to estimate, from the available information (Table 4) define the various parameters that models the Normal distribution function for each of the variables in question, i.e. to obtain different values of the mean and variance for each variable to be modeled. The

Cuadro 4. Valores característicos de las muestras de las variables analizadas.
Table 4. Characteristic values of the variables analyzed samples.

Parámetros	Lluvia acumulada	Periodo lluvioso		
		Duración	Inicio	Terminación
Valor mínimo	253 (mm)	84 días	129 juliano (9 de mayo)	247 juliano (5 de septiembre)
Valor máximo	1130 (mm)	151 días	181 juliano (30 de junio)	303 juliano (30 de octubre)
Intervalos		12 (6 días c/i)	27 (2 días c/i)	15 (4 días c/i)
Muestra (datos)	42 (años)	72 (días)	54 (días)	60 (días)
Media	617.87 mm	122.79 (día)	157.55 (día)	278.02 (día)
Desviación estándar	178.26 mm	20.97 (días)	15.71 (días)	17.34 (días)

Nota: c/i indica duración de cada intervalo.

El Cuadro 4 muestra el resumen de los valores característicos de cada variable y las estimaciones de sus parámetros empleados para la construcción de los modelos probabilísticos correspondientes considerando el modelo de densidad de probabilidad normal.

goodness of the fits obtained was corroborated with the Kolmogorov-Smirnov (Springal, 1989). As an example, Figure 3 shows the model fit and functions of normal distribution for the variable rainfall in the rainy season.

Resultados y discusión

Los resultados indican que el método de las perturbaciones, suavizado a través del empleo de promedios móviles de 15 días, genera una respuesta única para cada una de las cuatro variables del periodo lluvioso, sin que este resultado se asocie con una probabilidad de ocurrencia, por lo que método no fue utilizado para caracterizar la estación lluviosa. Así, con el método de las perturbaciones, el día de inicio corresponde al día juliano 156 (10 de junio) y el día de la terminación al día juliano 280 (12 de octubre). Luego entonces la duración del periodo lluvioso es de 125 días y tiene una precipitación acumulada de 589.7 mm. La principal desventaja de este método radica en no tener una estimación de ocurrencia y por tanto es un proceso del que se desconoce su confiabilidad.

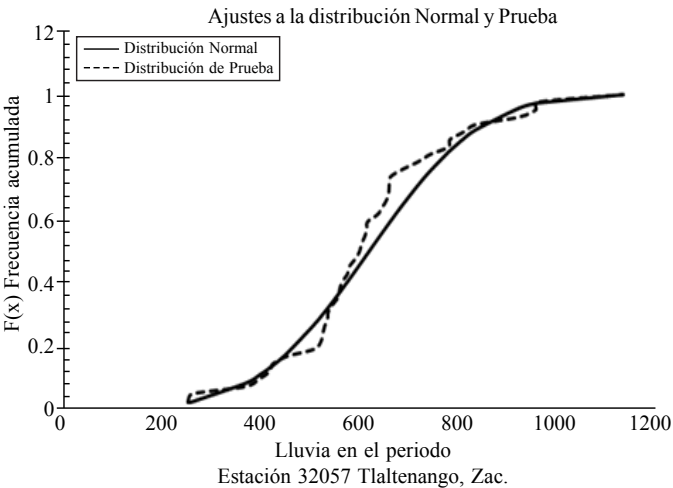


Figura 3. Ajuste del modelo de la distribución normal para la variable lluvia acumulada del periodo lluvioso y su distribución de prueba.
Figure 3. Model fit of the normal distribution for the variable cumulative rainfall rainy period and test distribution.

Para exponer el análisis de resultados del método ID4F15, se inicia mostrando los valores de las variables gráficamente del inicio y terminación de la temporada de lluvias para el periodo de años analizado. Los resultados mostrados en la Figura 4 son los valores registrados en el Cuadro 3.

The Table 4 shows the summary of the characteristic values of each variable and the estimates of their parameters used to construct probabilistic models for considering the model of normal probability density.

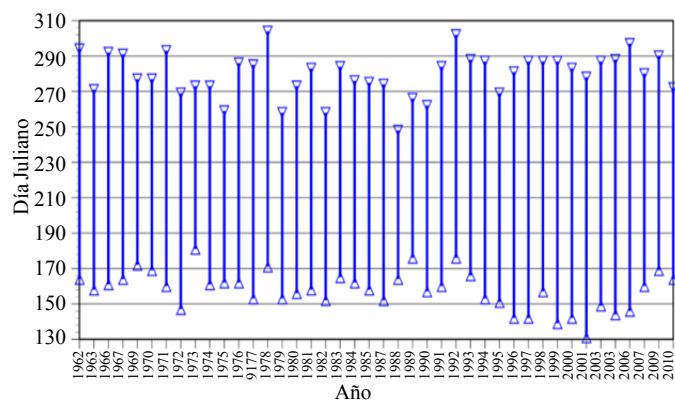


Figura 4. Variación anual del inicio y terminación de la temporada de lluvias.

Figure 4. Annual variation start and end of rainy season.

En la Figura 5 se presenta la lluvia total en el año y precipitación del periodo de lluvias en mm para los 42 años de registro, además se relacionan con la duración del periodo de lluvias, en ésta representación se observa que no existe una tendencia definida de la lluvia total, lluvia en el temporal y la duración en días del periodo.

Para definir las probabilidades de ocurrencia de la lluvia y duración asociada a la estación lluviosa, así como el inicio y la terminación de la época de lluvia, es necesario encontrar una regla práctica que facilite establecer un nivel de probabilidad, si el nivel de probabilidad de ocurrencia es bajo para la lluvia, la cantidad de precipitación aumenta y se pueden crear expectativas atractivas para la agricultura de temporal sobre-valorando la lluvia, si se sigue por el camino de probabilidades altas, la variable duración decrece, y sólo se preferirán maíces precoces, que generalmente producen menos que los maíces de ciclo intermedio o largo.

Por lo antepuesto, en este trabajo se recurre primero a establecer los valores de las variables de lluvia acumulada, duración, inicio y terminación del periodo de lluvias con base en diferentes probabilidades, a partir de esos valores, se seleccionará con base en los requerimientos agronómicos del cultivo del maíz, las probables magnitudes y fechas para el periodo de lluvias para la zona de estudio. En el Cuadro 5 se exhiben los resultados obtenidos de los modelos probabilísticos para las cuatro variables consideradas e indican que aunque la lluvia acumulada en el periodo de lluvias es buena, la duración de dicho periodo es corta como fue reportado por Luna y Gutiérrez (2000) por lo que es necesario ajustar el tipo de híbrido/variedad a cultivar en función de sus necesidades hídricas y térmicas.

Results and discussion

The results indicated that the method of disturbances, smoothed by employing a moving average of 15 days, generating a unique response to each of the four variables of the rainy, without that this result is associated with a probability of occurrence, for what method was used to characterize the rainy season. Thus, with the method of perturbations, the start day corresponds to Julian day 156 (10 June) and the day of termination at Julian day 280 (October 12). Then then the duration of the rainy period is 125 days and cumulative rainfall is 589.7 mm. The main disadvantage of this method is estimated to have no occurrence and is therefore a process of unknown reliability.

To expose the analysis results of the ID4F15 method, begins the values shown graphically variable start and end of the rainy season for the period of years analyzed. The results shown in Figure 4 are the values recorded in Table 3.

The Figure 5 shows the total rainfall for the year and rainy precipitation in mm for the 42 years of record, and are related to the duration of the rainy season in this representation is observed that there is no definite trend total rainfall, rainfall in the storm and the duration in days of the period.

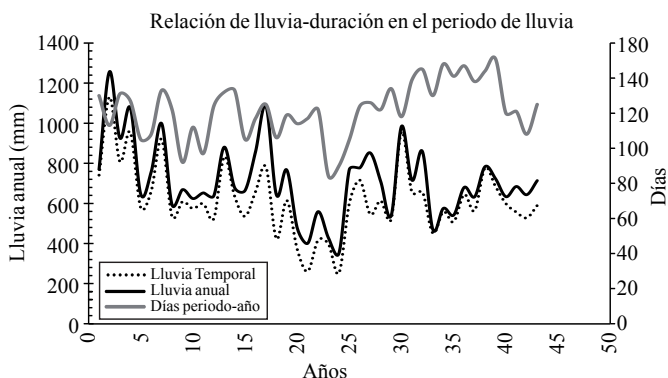


Figura 5. Gráfica lluvia total, lluvia temporada y días del periodo de lluvias.

Figure 5. Graphic total rainfall, rain season and rainy days.

In order to define the probabilities of occurrence and duration of rainfall associated with the rainy season and the beginning and ending of the rainy season, you need to find a practical rule to facilitate establishing a probability level if the probability level occurrence is low for the rain, the amount of precipitation increases and expectations can create attractive for seasonal agriculture over- valuing

Cuadro 5. Valores de las variables en función de la probabilidad.
Table 5. Values of variables in terms of probability.

Probabilidad	Variable			
	Lluvia (mm)	Duración (días)	Inicio no estar en el periodo	Terminación estar en el periodo
98%	253.0	80	125 Juliano (5 de mayo)	243 juliano (1 de septiembre)
90%	397.0	96	137 Juliano (17 de mayo)	255 juliano (13 de septiembre)
77%	482.8	107	146 Juliano (26 de mayo)	264 Juliano (22 de septiembre)
75%	498.0	108	147 Juliano (27 de mayo)	265 Juliano (23 de septiembre)
50%	617.9	122	157 Juliano (6 de junio)	278 Juliano (5 de octubre)
30%	715.0	134	166 Juliano (17 de junio)	287 Juliano (14 de octubre)
10%	835.0	150	177 Juliano (26 de junio)	300 Juliano (27 de octubre)

Para los valores de las variables lluvia y duración, se observa que al aumentar la probabilidad disminuye su magnitud en días y en milímetros y al mismo tiempo aumenta la confianza en los valores. Para la variable inicio de temporada de lluvias, al aumentar la probabilidad, aumenta la incertidumbre de estar en el periodo de lluvias apto para la apertura de siembra del cultivo por lo que aumenta el ciclo de lluvias. Por último, la variable terminación del periodo, indica que al aumentar su probabilidad se asegura que ya comenzó la terminación del periodo de lluvias y se acorta el ciclo de lluvia.

Al caracterizar y conocer las variables inicio, duración y terminación de la estación lluviosa y la variable cantidad de precipitación, el siguiente paso es relacionar estas cuatro variables con los requerimientos hídricos del cultivo del maíz determinado con el método de grados días desarrollo (GDD), se pueden establecer los siguientes incisos:

a) Se propone como alternativa de inicio al periodo de lluvias con 50% de probabilidad, esto es, la variable inicio es el día juliano 157 (6 de junio), y la terminación con una probabilidad de 74% con el día 267 juliano (25 de septiembre) para una duración de 110 días. Se plantea la probabilidad de 50% o más que indica que estamos en una zona probabilísticamente segura.

b) Se determina el valor de GDD para el cultivo con duración de 110 días, datos de la variable de inicio y terminación, utilizando el método propuesto por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) el resultado es 1 200 GDD, con el coeficiente de 0.31 se determina los requerimientos del cultivo de 372 mm para todo el ciclo, cuya lámina bruta de 477 mm y una precipitación efectiva de 78% se garantizan con una probabilidad de 78.5%.

the rain, if it continues on the path of high probability, the variable duration decreases, and only prefer early maize which usually produce less than the maizes intermediate or long cycle.

Because of this, in this work draws first set the values of the variables cumulative rainfall, duration, start and end of the rainy season based on different probabilities from those values, will be selected based on agronomic requirements maize crop, the likely magnitudes and dates to the rainy season for the study area. In Table 5 are shown the results of the probabilistic models for the four variables considered and indicate that although the rainfall during the rainy season is good, the duration of this period is short as reported by Luna and Gutiérrez (2000) so it is necessary to adjust the type of hybrid / variety to grow according to their water needs and heat.

For values of rain and duration variables we observe that the probability decreases with increasing magnitude in days and millimeters and also increases confidence in the values. For the variable onset of rainy season, increasing the probability increases the uncertainty of being in the rainy opening suitable for planting the crop by increasing the rain cycle. Finally, the variable end of the period, indicating that increasing your chance already begun ensures termination of the rainy season and shortens the cycle of rain.

To characterize and understand the variables onset, duration and termination of the rainy season and the variable amount of precipitation, the next step is to relate these four variables with the water requirements of maize determined using the method of degree days (GDD), we can set the following subsections:

c) Para fines prácticos en promedio uno de cada cinco años tendrán déficit por cantidad de lluvia. La zona cuenta con al menos 80 días insertos en el periodo de lluvias con probabilidad de 98% y se tendría una lluvia mínima esperada de 253 mm con una probabilidad de 98%.

d) De acuerdo al análisis efectuado, la región estudiada tiene un periodo de duración suficiente y apta para maíces de ciclo de 110 días con una probabilidad por lluvia 78.5% y una holgura de dicho periodo de 15 días ya que la terminación del periodo ocurre cuando la lluvia acumulada después de 15 días consecutivos es menor 20 mm.

Cabe resaltar que los resultados probabilísticos de la duración de cultivo con la suma de las variables de inicio y terminación no necesariamente deben coincidir ya que han sido obtenidas por evento y modelos probabilísticos independientes.

Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permite concluir que analizar y relacionar las cuatro variables consideradas del periodo lluvioso (lluvia acumulada, inicio, terminación y duración), con base en una modelación probabilística bajo el empleo de la función de densidad de probabilidad normal, es posible señalar que para el caso estudiado 78.5% de las veces el agricultor contará con la lluvia necesaria para el desarrollo del maíz de temporal con duración de 110 días.

Adicionalmente, también con la misma probabilidad se garantiza la duración y terminación del periodo lluvioso, hipótesis que fue considerada a partir de 50% de probabilidad del inicio del temporal. Finalmente, con base en los resultados de este trabajo, se recomienda caracterizar probabilísticamente el periodo lluvioso de las zonas agrícolas del país con esta metodología bajo el empleo de la información de las variables climáticas históricas registradas en las estaciones climatológicas y así definir la probabilidad de cumplimiento de los requerimientos hídricos de los cultivos a través de la lluvia.

Literatura citada

Arteaga-Ramírez, R.; Vázquez-Peña, M. A.; Coras-Merino, P. M. y Ángeles-Montiel, V. 2006. Componentes de la estación de crecimiento, variación temporal y espacial en Chapingo, México. *Ingeniería hidráulica en México*. 21(2):57-68.

a) The proposed alternative start to the rainy season with 50% probability, that is, the variable start is the Julian day 157 (June 6), and ending with a probability of 74% to 267 Julian day (September 25) for a duration of 110 days. This raises the probability of 50% or more indicating that we are in a safe probabilistically.

b) Determine the value of GDD for cultivating lasting 110 days, the variable data initiation and termination, using the method proposed by Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) the result is 1200 GDD, with the coefficient of 0.31 is determined crop requirements of 372 mm for the whole cycle, whose gross depth of 477 mm and an effective precipitation of 78% guaranteed with a probability of 78.5%.

c) For practical purposes on average one in five years will have deficit rainfall. The area has at least 80 days embedded in the rainy season with a probability of 98% and would have a minimum expected rainfall of 253 mm with a probability of 98%.

According to its analysis, the study region has a duration sufficient and safe cycle for maize for 110 days with a 78.5% chance for rain and a clearance of the said period of 15 days since the end of the period occurs when cumulative rainfall after 15 consecutive days is less 20 mm.

Significantly probabilistic outcomes crop duration to the sum of the start and end variables need not coincide as they have been obtained by independent event and probabilistic models.

Conclusions

The development of this study to conclude that analyze and relate the four variables considered the rainy season (cumulative rainfall, start, end and duration), based on a probabilistic modeling under the employ of the probability density function of normal, it is possible to point studied for the case 78.5% of the time the farmer will rain necessary for the development of rainfed maize lasting 110 days.

Additionally, with the same probability also ensures the duration and termination of the rainy period, a hypothesis that was considered from 50% chance the start of the storm. Finally, based on the results of this study, it is recommended to characterize probabilistically the rainy season in

- Ati, O. F.; Stigter, C. J. and Oladipo, E. O. 2002. A comparison of methods to determine the onset of the growing season in northern Nigeria. *Int. J. Climatol.* 22:731-742.
- Benoit, P. 1977. The start of the growing season in northern Nigeria. *Agric. Meteorol.* 18:91-99.
- Bello, N.J. 1996. An investigation of the characteristics of the onset and cessation of the rains in Nigeria. *Theor. Appl. Climatol.* 54:161-173.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Actualización 2012 base de datos CLICOM (clima computarizado). Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
- Chow, V. T.; Maidment, D. R. y Mays, L. W. 1994. *Hidrología Aplicada*. Editorial McGraw-Hill, Interamericana, S. A., Santafé de Bogotá, Colombia. 365-390 pp.
- Dastane, N. G. 1978. Effective rainfall. FAO. Irrigation and drainage. Paper No. 25. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. 48 p.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Crop water requirements. Irrigation and drainage Paper No. 24 (rev) FAO, Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. 144 p.
- García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México (UNAM). 50:67-76.
- García-Páez, F. y Cruz-Medina I. R. 2008. Fechas de inicio y terminación de la temporada de lluvias en la región Pacífico Norte. *Ingeniería hidráulica de México.* 23(5):179-188.
- Garduño, R. 1992. El veleidoso clima, <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/127/htm/veleidos.htm>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI). 2009. Censo Agropecuario 2007. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Aguascalientes, México, D. F.
- Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Sinaloa. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Sinaloa (1961-2003). México. 153 pp.
- Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2004. Estadísticas climatológicas básicas del estado de zacatecas (1961-2003). México. 240 pp.
- Luna-Flores, M. 2008. Mejoramiento genético del maíz de temporal en la región del Norte-Centro de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. Documento interno. Campo Experimental Calera-INIFAP-SAGARPA. 10 pp.
- Luna-Flores, M. y Gutiérrez, S. J. R. 2003. Guía para cultivar maíz de temporal en el antiplano de Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. Campo Experimental Calera. INIFAP-SAGARPA. Folleto para productores Núm. 26. 22 pp.
- Luna Flores, M. y Gutiérrez Sánchez, J. R. 2000. Investigación fitotécnica de maíz de temporal en la región alta del norte de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:195-210.
- Mirás-Avalos, J. M.; Paz-González, A; Vidal-Vázquez, E. and Sande-Fouz, P. 2007. Mapping monthly rainfall data in Galicia (NW Spain) using inverse distances and geostatistical methods. *Advances in Geosciences* 10:51-57.

agricultural areas of the country with this methodology on the use of information from historical climatic variables recorded at weather stations and define the likelihood of compliance of crop water requirements through the rain.

End of the English version



- Mosiño, P. A. and García, E. 1974. The climate of Mexico. World survey of climatology. In: Bryson, R. A. and Hare, F. K. (Eds.). *Climates of North America*, London: Elsevier. 2:345-404.
- Muñoz, P. D. y Hernández, R. G. 2004. Situación actual y perspectiva del maíz. 2004. El Sistema de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP). SAGARPA. Mexico, D. F. 136 p.
- Ojeda, W. y Sifuentes, E. 1999. Predicción del último riego usando el concepto de días grado crecimiento. In: memorias del IX Congreso Nacional de Irrigación. Culiacán, Sinaloa. Asociación Nacional de Especialistas en irrigación. Simposio 1. Ingeniería de riego. ANEI-S19906. 33-39 pp.
- Ojeda-Bustamante, W.; Sifuentes-Ibarra, E. y Unland, H. 2006. Programación integral del riego en maíz. *Agrociencia.* 40:13-25.
- Ojeda, W.; Hernández, L. y Sánchez, I. 2008. Requerimientos de riego de los cultivos. León, B. de. (Ed.). In: diseño de pequeñas zonas de riego. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (INTA). 1:15-48 pp.
- Ojeda, W.; Hernández, L. y Sánchez, I. 2008. Requerimientos de riego de los cultivos. Eds. B. de León y B. Robles. In: diseño de pequeñas zonas de riego. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (INTA). 1:15-48.
- Ojeda, W.; Íñiguez, M.; Sifuentes, E.; Ontiveros, R. y López, B. 2012. Identificación de un portafolio de medidas de adaptación al cambio climático para el sector agrícola, mediante la evaluación del riesgo actual y el proyectado a 2030. RFQ-104-2011. Informe final. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (INTA). 319 p.
- Oladipo, E. O. and Kyari, J. D. 1993. Fluctuations in the onset, termination and length of the growing season in northern Nigeria. *Theor. Appl. Climatol.* 47:241-250.
- Raes, D.; Sithole, A.; Makaru, A. and Millford, J. 2004. Evaluation of first planting dates recommended by criteria currently used in Zimbabwe. *Agric. For. Meteorol.* 125:177-185.
- Sivakumar, M. V. K. 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agric. For. Meteorol.* 42:295-305.
- Smith, M. 1992. CROPWAT, A computer program for irrigation planning and management FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. Food and Agriculture Organization. Rome. 126 p.
- Springal, R. 1978. Análisis estadístico y probabilístico de datos hidrológicos. Universidad Autónoma de México (UNAM). Facultad de Ingeniería. 137 pp.