

INICIO DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO Y PERIODOS SECOS EN TABASCO, MÉXICO

• Osías Ruíz-Álvarez •

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

• Ramón Arteaga-Ramírez • Mario Alberto Vázquez-Peña •

• Ronald Ernesto Ontiveros-Capurata •

Universidad Autónoma Chapingo, México

• Rutilo López-López •

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México

Resumen

En la agricultura de temporal, la información sobre fechas de inicio de las lluvias sirve de base para planear las actividades inherentes a la explotación, al grado de determinar el éxito o fracaso de la misma; parte de estos resultados se reflejan después de la siembra (germinación) y al momento de la cosecha. Otro aspecto de gran importancia son los periodos secos que se presentan en el ciclo agrícola, los cuales provocan mala germinación, crecimiento raquítrico, desarrollo deficiente y reducciones considerables en el rendimiento. Por esto se llevó a cabo un análisis del inicio de la estación de crecimiento en Tabasco, con el fin de conocer las fechas de inicio de ésta a diferentes niveles de probabilidad; también se estudió la ocurrencia de periodos secos (definidos con el umbral de 1 mm) con duración de siete días. Para esto se utilizaron datos diarios de precipitación y evaporación de 18 estaciones meteorológicas del estado. Se encontró que existe relación entre el inicio medio de la estación de crecimiento y la latitud, así como con la precipitación promedio anual, esto se corroboró con un análisis de regresión lineal, en los que para cada caso se encontraron valores de r^2 de 0.6884 y 0.8112; las fechas más tempranas del inicio de la estación de crecimiento se relacionan con bajas probabilidades del inicio éstas. En Tabasco existen tres regiones en las que el inicio de la estación de crecimiento (80%) se ve afectada distintamente por la ocurrencia de periodos secos de siete días.

Palabras clave: estación de crecimiento, balance hídrico, agricultura de temporal, distribución normal, periodo seco, rendimiento.

Introducción

La precipitación es el fenómeno meteorológico más importante directamente enlazado con el desarrollo económico mundial. Por eso, la investigación en esta temática cada vez cobra mayor importancia en los ámbitos agrícola, hidrológico, hidráulico y de recursos naturales (Aviad *et al.*, 2004; Faustine *et al.*, 2007; Deni *et al.*, 2008). Desde finales del siglo pasado, por parte de numerosos científicos se han venido desarrollando diversos trabajos, con el fin de conocer la duración, fecha de inicio y fin de la estación de crecimiento en una región

determinada, prestando especial atención a los periodos de sequía que ocurren en este intervalo, su probabilidad de ocurrencia, y su distribución en el tiempo y en el espacio. La expansión de la agricultura (tanto de riego como de secano), el desarrollo industrial, el aumento apresurado de la población, el cambio climático y la pérdida de recursos naturales son los acontecimientos que han provocado aumento en la demanda de tales estudios (Deni *et al.*, 2008).

Para el sector agrícola, contar con información del patrón que siguen las lluvias es de vital importancia a la hora de planear las actividades, principalmente aquellas que

se relacionan con la preparación del suelo, selección del cultivo y variedad de éste, así como con la determinación de fechas y métodos de siembra (Hachigonta *et al.*, 2008), ya que los rendimientos más altos se obtienen cuando los cultivos se establecen de manera oportuna (Sivakumar, 1988). En relación con esto, diversos autores mencionan que el inicio de la temporada de lluvias determina la época de siembra y el inicio de la estación de crecimiento (Benoit, 1977; Aviad *et al.*, 2004; Arteaga *et al.*, 2006), definiéndose la estación de crecimiento como el periodo del año durante el cual las características de distribución de la precipitación son adecuadas para la germinación, establecimiento y desarrollo pleno del cultivo (Odekunle, 2004).

Con respecto a la estación de crecimiento, se han realizado numerosos trabajos; sin embargo, cada investigador considera su propio criterio para definir el inicio, duración y fin de ésta. En ese sentido, Aviad *et al.* (2004) comentan que el criterio que se emplee dependerá de la orientación y el propósito de la investigación; por su parte, en un estudio para Israel, utilizaron dos rangos de umbrales de precipitación, uno de 0.1 a 80 mm con intervalos de 2.5 mm, y otro de 80 a 200 mm con intervalos de 5 mm, encontrando que conforme el umbral aumenta, el inicio de la estación de crecimiento se retrasa, su fin se anticipa y como consecuencia, la longitud se reduce. En un trabajo similar, Odekunle (2004) aplicó el método de porcentaje de precipitación acumulada, para ello precisó que la estación de crecimiento iniciara en la pentada, cuyo valor acumulado de la lluvia varía entre 7 y 8% del total anual, y termina en la pentada en que se alcanza el 90% de ésta; además declaró que la ventaja de este método es que emplea únicamente datos diarios de precipitación. Con el propósito de obtener fechas de siembra con altas probabilidades de éxito en Zimbabwe, Raes *et al.* (2004) establecieron que el inicio de la estación de crecimiento se da en la fecha en que el total de la precipitación acumulada en cuatro días llega a ser de 40 mm, auxiliándose

también de un modelo de balance hídrico. En una investigación sobre la misma línea y utilizando un modelo de balance hídrico del suelo aplicado al cultivo de maíz en el oeste de Kenia, Mugalavai *et al.* (2008) encontraron relación estrecha entre la duración, fecha de inicio y fin de la estación de crecimiento.

Por otra parte, un periodo seco se define como el tiempo en el que la precipitación que se registra es menor a un umbral determinado, a partir del cual el ecosistema empieza a sufrir estrés hídrico importante y visible, lo cual determina que la vegetación active al máximo los mecanismos que le son propios para adaptarse a esta circunstancia, ocasionando una reducción considerable del rendimiento (Hershfield, 1971; Luengo *et al.*, 2002). Engelbrecht *et al.* (2006) comentan que cuando se presentan periodos secos con duración de diez días ocurre un descenso significativo en el número de plántulas de especies forestales tropicales recién emergidas. Por su parte, Raes *et al.* (2004) y Stern *et al.* (2006) aseguran que un periodo seco prolongado después de las primeras lluvias puede provocar una salida “en falso” del cultivo, generando la pérdida de las semillas y obligando a los agricultores a una segunda siembra.

En este tópico, como en el anterior, también diversos autores han realizado importantes aportaciones, entre ellas resulta valioso mencionar la investigación que Hershfield (1971) llevó a cabo para Maryland, Estados Unidos, en la que aplicó una distribución geométrica para determinar el número total de días secos y su longitud media, con lo que llegó a isolíneas y ecuaciones para calcular la probabilidad de que ocurra un periodo seco con duración igual o mayor a un determinado número de días en un punto geográfico comprendido entre 31 estaciones; en ese trabajo, un día seco se definió a partir de los umbrales: 0.01, 0.10 y 0.25 pulgadas. En trabajos distintos, Faustine *et al.* (2007) y Deni *et al.* (2008) analizaron, respectivamente, la distribución de frecuencia de periodos secos en Tanzania y la distribución espacial de éstos

en la península de Malasia, así como su ajuste a siete distribuciones de probabilidad; en ambos estudios consideraron como día seco aquel en que la precipitación es menor a 1.0 mm, sin embargo, en el primero encontraron que el periodo seco más largo se presentó en el año de 1999, con duración de 249 días, mientras que en el segundo se localizaron periodos secos hasta de 77 días. Luengo *et al.* (2002) estudiaron periodos secos en la Cuenca del Duero, España, empleando cadenas de Markov y distribución de frecuencias de Gumbel, fijando como día seco aquel donde se presenta precipitación menor o igual a 0.1 mm. Para Engelbrecht *et al.* (2006), en un periodo seco, la precipitación es menor que la evapotranspiración media diaria y bajo este enfoque descubrieron que incluso en la estación húmeda de una región tropical se presentan periodos secos de al menos seis días de duración. Por otro lado, Cindrić *et al.* (2010), en un trabajo sobre periodos secos efectuado para Croacia, definieron días secos a partir de 0.1, 1, 5 y 10 mm; de este modo, respecto a las sequías, pudieron dividir al país en tres regiones climáticas diferentes. Por último, Alyamani y Sen (1997), en un trabajo sobre duración y variación espacio temporal de periodos secos para el suroeste de Arabia Saudita, hallaron relación inversa entre el número de periodos y sus duraciones; para esto determinaron que en un día seco, la precipitación que se presenta es igual a cero.

De las citas presentadas, puede verse que existen diferentes criterios para definir el inicio de la estación de crecimiento y la ocurrencia de días secos; sin embargo, la elección de uno de ellos depende de la precisión que quiera obtenerse en los resultados y de la aplicación futura que se le dará a los mismos.

El presente estudio tiene como objetivos determinar las fechas de inicio de la estación de crecimiento en Tabasco a los niveles del 20, 40, 60 y 80% de probabilidad de no excedencia a partir del balance hídrico diario y la distribución normal, así como conocer la

probabilidad de ocurrencia de periodos secos de siete días definidos con el umbral de 1 mm.

Materiales

Área de estudio

Según Velázquez (1994), el estado de Tabasco se localiza en la zona cálida húmeda del hemisferio boreal y comprende la parte occidental de la región sureste de México, ubicándose entre los meridianos 90° 59' 08'' y 94° 07' 00'' al oeste del meridiano de Greenwich y los paralelos 17° 15' 00'' y 18° 38' 45'' de latitud norte. Limita al norte con el Golfo de México y el estado de Campeche, al sur con el estado de Chiapas y la República de Guatemala, y al oeste con el estado de Veracruz. Tiene una extensión territorial de 24 661 km².

Información climatológica

Se utilizó la que se reporta en el Extractor Rápido de Información Climática (ERIC, v. 3) creado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2007). Las variables empleadas son datos diarios de precipitación (mm) y evaporación del tanque tipo A (mm), en 18 estaciones ubicadas a lo largo de los 17 municipios del estado de Tabasco. En el cuadro 1 se presentan sus características, así como los años con la información empleada en el estudio.

Instat Plus v. 3.36

Es un *software* que incorpora un paquete de métodos de probabilidad y estadística, así como una gama de herramientas que facilitan el manejo y procesamiento de los datos climáticos aplicables a la agricultura; ha sido generado por la universidad de Reading, Inglaterra, y empleado en numerosos trabajos de climatología agrícola (Raes *et al.*, 2004; Stern *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Características generales de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio, Tabasco, México.

Estación	Longitud (W)	Latitud (N)	Altitud (m)	Precipitación (mm)	Datos	Años
Boca del Cerro	91° 29'	17° 26'	100	2 340	PP	51
					Ev	47
Dos Patrias	92° 47'	17° 36'	60	2 927	PP	48
					Ev	37
Macuspana DGE	92° 34'	17° 46'	68	2 364	PP	51
					Ev	26
Pueblo Nuevo	92° 52'	17° 51'	60	2 105	PP	50
					Ev	38
Samaria	93° 16'	17° 59'	19	1 994	PP	51
					Ev	47
San Pedro	91° 9'	17° 47'	36	1 555	PP	47
					Ev	27
Tapijulapa	92° 49'	17° 28'	60	3 550	PP	38
					Ev	33
Teapa	92° 58'	17° 34'	72	3 409	PP	38
					Ev	38
Tres Brazos	92° 38'	18° 24'	30	1 647	PP	51
					Ev	20
El Triunfo	91° 10'	17° 56'	60	1 559	PP	26
					Ev	14
Oxolotán	92° 45'	17° 22'	36	3 404	PP	25
					Ev	7
Cárdenas	93° 23'	17° 58'	21	2 043	PP	41
					Ev	29
Francisco Rueda	93° 56'	17° 50'	7	2 368	PP	32
					Ev	20
Macuspana SMN	92° 35'	17° 45'	60	2 375	PP	45
					Ev	18
Paraíso	93° 12'	17° 58'	-	1 810	PP	46
					Ev	27
Villahermosa	92° 55'	17° 59'	10	2 010	PP	49
					Ev	48
Puyacatengo	92° 55'	17° 30'	25	3 945	PP	22
					Ev	22
Nacajuca	92° 55'	18° 12'	-	1 747	PP	19
					Ev	14

PP = precipitación; Ev = evaporación; - = falta información.

Método

Para cada estación se obtuvieron los promedios mensuales de evaporación.

Evapotranspiración de referencia (ET_0)

Ésta se obtuvo a partir de los promedios mensuales de evaporación, empleando la expresión $ET_0 = K_p \cdot E_{pan}$, E_{pan} es la evaporación del tanque tipo A (mm), K_p es el coeficiente de tanque, mismo que depende del clima de la región. Para este estudio se empleó un K_p de 0.80 (Doorenbos y Pruitt, 1977; Palacios, 2002; Allen et al., 2006). Posteriormente se seleccionó un valor típico anual de esta variable en cada una de las estaciones consideradas.

Capacidad de almacenamiento de agua del suelo (CA)

El cálculo se llevó a cabo con el método que propone el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Palacios, 2002). Para esto, se asumió como representativa la profundidad de 70 cm y textura arcillosa de los suelos del estado de Tabasco (Palma et al., 2007).

Balance hídrico

Se efectuó para todas las estaciones y cada uno de los años de los que se dispone información; se utilizó *INSTAT PLUS* v. 3.36 (Raes et al., 2004; Stern et al., 2006), ingresando los valores diarios de precipitación, capacidad de almacenamiento de agua del suelo y el valor anual característico de ET_0 para la estación considerada.

Criterio de inicio de la estación de crecimiento

Después de las primeras lluvias del año, es común que se presenten días sin precipitación apreciable (Stern et al., 2006), por tal motivo, para evitar falsos inicios de la estación de crecimiento, se considera conveniente que los resultados del balance hídrico sean los que

determinen el inicio de ésta, donde el único factor que restringe es la humedad almacenada del suelo (Ortiz, 1987). El modelo de balance hídrico obedece a la expresión $HA_i = HA_{i-1} + P_i - ET_{0i}$. HA_i es la humedad almacenada para un día determinado (mm), HA_{i-1} es la humedad almacenada del día anterior (mm), P_i es la precipitación en el día (mm) y ET_{0i} es la evapotranspiración de referencia del día en cuestión (mm), cuyo valor se mantuvo constante en todo el año. Si $HA_i < 0$, quiere decir que se trata de un día con déficit hídrico, en el que es posible que un cultivo dado sufra de estrés; pero si $HA_i > CA$, hay exceso de humedad; sin embargo, desde el punto de vista de disponibilidad de ésta, no representa problemas; otro caso que puede presentarse es que HA_i sea menor que CA , pero mayor a cero; este valor representa la humedad que está disponible para el cultivo. Lo ideal para que se considere periodo húmedo es que prevalezca cualquiera de las dos últimas condiciones. Entonces el inicio de la estación ocurre en la fecha que $HA_i > 0$; para los días en que esta condición se mantiene es la estación de crecimiento.

Tratamiento probabilístico del inicio de la estación de crecimiento

Para esto se utilizó la distribución normal, considerando que los fenómenos físicos se ajustan a esta distribución (Saíd y Zárate, 2001). Según estos autores, una variable aleatoria X se distribuye normalmente si su función de densidad es:

$$f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} & ; -\infty < x < \infty \\ 0, & \text{de otra forma} \end{cases} \quad (1)$$

Donde $\mu = E(X)$, $-\infty < \mu < \infty$; $Var(X) = \sigma^2$, $\sigma^2 > 0$; $e = 2.71828...$ y $\pi = 3.14159...$ A esta distribución le corresponde una variable aleatoria Z estandarizada, que se obtiene con:

$$Z = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

Donde X_i es el día Juliano; μ , la media de los días (día Juliano) en los que ha iniciado la estación de crecimiento para los años de los que se disponen datos, y σ es la desviación estándar. Esta expresión permite conocer la probabilidad que le corresponde a cada uno de los días del año; dicha probabilidad se obtuvo de tablas de probabilidades acumuladas de la distribución normal (Saíd y Zárate, 2001). Para conocer el día del año en que inicia la estación de crecimiento a los niveles de 20, 40, 60 y 80% de probabilidad, se le aplicó a estos niveles la distribución normal estándar inversa para obtener Z . De este modo, el día (X_i) en que inicia la estación de crecimiento está dado por:

$$X_i = \mu + (Z * \sigma) \quad (3)$$

Sin embargo, no se debe omitir que en algunas regiones de Tabasco también se presentan lluvias desde el primer día de enero (Velázquez, 1994); estas lluvias se interrumpen y se restablecen meses después, lo que conduce a un error en el valor de la probabilidad (probabilidad empírica), el cual puede corregirse con la siguiente función mixta (Thom, 1959):

$$P_c = F_0 + (1 - F_0) * f(x) \quad (4)$$

Donde P_c es la probabilidad corregida; $f(x)$, la probabilidad empírica que le corresponde a cada día (X_i) del año; F_0 , la frecuencia donde el inicio de la estación de crecimiento se presenta el primero de enero, y se obtiene con:

$$F_0 = \frac{n}{m} \quad (5)$$

Donde m representa el número de años de la serie y n el número de años en que la estación de crecimiento ha iniciado el primero de enero.

Criterio para definir un día seco

Diversos autores han empleado criterios diferentes para definir un día seco (Alyamani y Sen, 1997; Luengo *et al.*, 2002; Aviad *et al.*, 2004; Odekunle, 2004; Engelbrecht *et al.*, 2006; Faustine *et al.*, 2007; Mugalavai *et al.*, 2008; Cindrić *et al.*, 2010;). En este trabajo, un día seco es el que presenta precipitación menor que 1 mm.

Cálculo de la probabilidad de ocurrencia de periodos secos con duración de siete días

Esta fase se realizó con *Instat Plus* v. 3.36 (Raes *et al.*, 2004; Stern *et al.*, 2006). Primero se resumieron los datos de precipitación considerando el umbral de 1 mm, de esta manera se obtuvo el número de días secos y húmedos para cada uno de los años. Enseguida los datos de precipitación se ajustaron al Modelo de Markov (Luengo *et al.*, 2002), y con éste se calculó la probabilidad de ocurrencia de periodos de sequía con duración de siete días.

Resultados y discusión

Balance hídrico diario

En el cuadro 2 se presentan los resultados del balance hídrico de la estación Cárdenas para el año de 1958. Cuadros similares a éste se obtuvieron para todos los años y para todas las estaciones. En éstos se presenta el estado de humedad del suelo para cada uno de los días del mes. Los símbolos -- y ++ indican, respectivamente, que la humedad del suelo es igual a cero (déficit), y por arriba de su capacidad de almacenamiento (excesos), los números expresan el valor de la humedad almacenada (HA_i). Como puede verse, los déficits se presentaron del 9 al 23 de febrero, a finales de ese mes y hasta el 30 de marzo se interrumpieron, para reanudarse el día 31 y prolongarse hasta el 17 de mayo. Por la situación intermitente de la humedad (déficits en los primeros cuatro meses), de acuerdo

con el criterio de inicio de la estación de crecimiento, ésta comenzó una vez que la humedad disponible perduró sin interrupción para el resto del año o para un periodo de tiempo considerable, que diera lugar a la obtención de al menos una cosecha de un cultivo determinado (Eldin, 1983). Para el área de influencia de Cárdenas, puede verse que la estación de crecimiento en ese año inició el 18 de mayo. Toda siembra efectuada en enero, febrero y marzo hubiera conducido al fracaso. No obstante, con siembras en el primer y tercer mes, las semillas habrían alcanzado a germinar, incluso las plántulas hubieran crecido, pero al experimentar 15 días de sequía (siembra de enero), hubieran sufrido estrés hídrico que, de superarlo, las reducciones en el rendimiento hubieran sido pronunciadas (Doorenbos y Kassam, 1979; Brower *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 2006). Por otro lado, siembras a principios de febrero hubieran conducido a una inevitable pérdida de la semilla (Stern *et al.*, 2006). Con estos cuadros se obtuvieron las fechas de inicio de la estación de crecimiento para cada una de las estaciones y años de los que se dispone de datos.

Inicio de la estación de crecimiento

Las estadísticas básicas calculadas para el inicio de la estación de crecimiento fueron la media y la desviación estándar. La desviación estándar presentó una variación entre 19 (El Triunfo) y 71 (Oxolotán). La media se encontró entre 38 (Tapijulapa) y 185 (Nacajuca). Para 13 de las estaciones consideradas, la estación de crecimiento inició entre los días 130 y 180 en la mayor parte de los años (figura 1a), para éstas, la desviación estándar varió entre 19 y 54; el valor más bajo corresponde a El Triunfo, que de su serie de datos (26 años), sólo en tres años la estación inició fuera del rango señalado: dos años ha iniciado antes (un año, 12 días antes y otro un día después) y sólo uno después (36 días después); el valor más alto de la desviación estándar correspondió a Francisco Rueda y se debe a 11 años, de los cuales, en

cinco esta variable inició en enero, cinco años entre los días 95 (cinco de abril) y 128 (ocho de mayo) y un año el día 205 (24 de julio). Para las cinco estaciones restantes (Puyacatengo, Dos Patrias, Tapijulapa, Teapa y Oxolotán), los valores de la desviación estándar variaron entre 61 y 71 debido a que entre el 33 y 71% de los años de la serie, la estación de crecimiento inició el primero de enero; sin embargo, todas comparten el común de que el resto de los años inició entre los días 100 (10 de abril) y 160 (9 de junio) (figura 1b).

Se encontró que la estación de crecimiento empieza tempranamente en regiones que se encuentran orientadas al sur del estado de Tabasco y con rumbo a las montañas del norte de Chiapas. Para las estaciones que se ubican cerca de las costas del Golfo de México, el inicio de la estación de crecimiento se retrasa, lo cual se verificó con un diagrama de dispersión (figura 2a), al relacionar la fecha media de inicio de la estación de crecimiento con la latitud, encontrándose para r^2 el valor de 0.6884.

También se encontró que las estaciones que presentan inicio anticipado de la estación de crecimiento tienen correspondencia con los valores más altos de precipitación total anual; esto se corroboró con el valor de r^2 de 0.8112, que se obtuvo de la regresión lineal entre la fecha media de inicio y la precipitación anual (figura 2b), por lo que es lógico pensar que a mayor precipitación anual o a valores altos de precipitación, ésta se distribuya en una estación de crecimiento más o menos prolongada; para que esto se cumpla debe existir inicio anticipado de la misma.

En el cuadro 3 se muestran las fechas de inicio de la estación de crecimiento al 20, 40, 60 y 80% de probabilidad de no excedencia calculada, para todas las estaciones que se utilizaron en el estudio. Para el 20%, el inicio osciló entre los días 77 (18 de marzo) y 152 (1 de junio); para el 40%, entre 1 (1 de enero) y 175 (24 de junio); para 60%, entre 125 (5 de mayo) y 195 (14 de julio), y para el 80%, entre 116 (26 de abril) y 218 (6 de agosto). Estos valores se interpretan de la siguiente manera: para la

Cuadro 2. Balance hídrico para Cárdenas, 1958.

Día/mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	++	24	43	--	--	66	66	54	++	68	++	++
2	++	21	40	--	--	++	++	51	73	++	73	++
3	73	18	37	--	--	++	++	64	72	++	72	++
4	70	15	34	--	--	++	74	68	++	++	++	73
5	68	12	31	--	--	++	++	65	++	++	73	70
6	72	9	28	--	--	75	++	63	73	75	++	67
7	++	6	25	--	--	73	++	65	++	72	73	++
8	73	3	22	--	--	70	++	62	++	69	72	++
9	70	--	19	--	--	67	++	60	73	++	70	73
10	67	--	16	--	--	64	++	57	70	++	++	70
11	64	--	13	--	--	61	73	++	++	++	++	73
12	61	--	10	--	--	++	++	73	74	75	73	70
13	58	--	12	--	--	73	++	70	++	++	70	67
14	55	--	14	--	--	71	++	67	73	73	67	74
15	52	--	19	--	--	68	73	64	70	73	64	++
16	54	--	24	--	--	65	70	61	67	++	61	++
17	51	--	21	--	--	62	++	58	++	++	58	++
18	48	--	18	--	17	++	++	55	++	++	55	++
19	45	--	15	--	28	73	73	52	73	++	++	73
20	42	--	12	--	48	++	71	49	70	73	++	70
21	45	--	9	--	53	73	68	46	67	70	++	67
22	42	--	6	--	58	70	65	43	64	67	73	64
23	39	--	3	--	55	67	62	40	65	65	70	61
24	37	53	5	--	52	73	63	37	62	62	67	58
25	34	55	17	--	49	70	64	41	++	59	64	56
26	31	52	14	--	46	71	61	38	++	57	61	58
27	31	49	11	--	43	++	58	36	++	54	58	62
28	31	46	8	--	41	73	55	33	++	53	72	++
29	33		5	--	38	70	52	31	73	50	++	73
30	30		2	--	35	67	59	40	70	++	++	75
31	27		--		32		56	++		++		++

columna del 20%, los valores indican que en un año de cada cinco, el inicio de la estación de crecimiento ocurre ese día o antes para el área de influencia de esa estación, mientras que para el 40, 60 y 80% son dos, tres y cuatro de cada cinco, respectivamente.

En la figura 3 se presenta el análisis probabilístico para la estación Paraíso, con ella se puede conocer de forma gráfica la probabilidad que le corresponde a una fecha

dada de que la estación de crecimiento inicie y viceversa; asimismo, puede apreciarse que a medida que los días transcurren, mayor es la probabilidad de que inicie esta variable.

Las cuatro fechas de inicio de la estación de crecimiento obtenidas para cada estación brindan una idea confiable de las fechas de siembra con cierta probabilidad (misma probabilidad del inicio de la estación de crecimiento) de que exista suficiente humedad

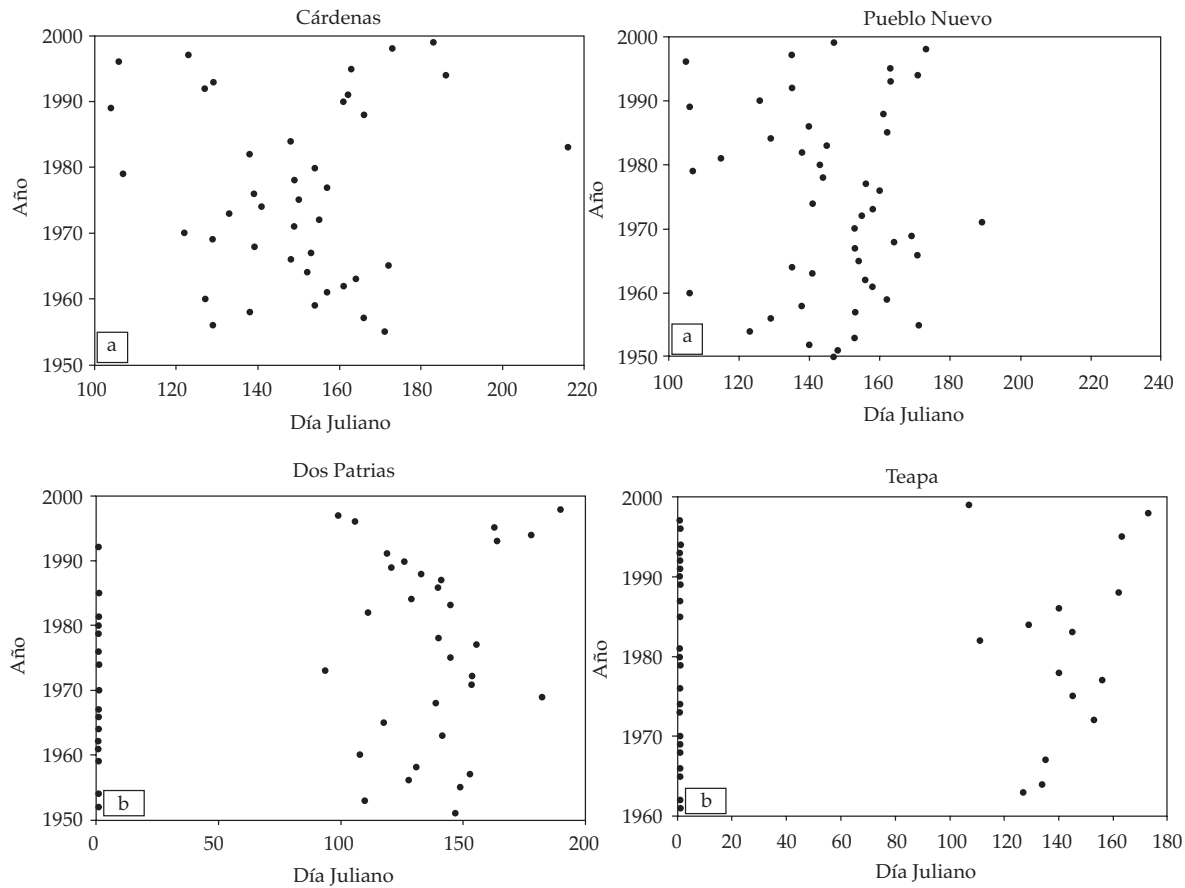


Figura 1. Inicio de la estación de crecimiento para cada uno de los años de registro.

en el perfil del suelo para dar lugar al proceso de germinación. Así, en este estudio, las fechas de siembra se han clasificado como sigue: el inicio de la estación de crecimiento al que corresponde el 20% de probabilidad es la fecha de siembra temprana, el 40 y 60% son las fechas medias y el 80% es la fecha de siembra tardía. Con ayuda del cuadro 3 se generaron mapas estatales de distribución espacial del inicio de la estación de crecimiento al 20 (figura 4) y 80% (figura 5) de probabilidad de no excedencia, en los que se puede apreciar que para ambos niveles, el inicio de la estación se anticipa en el sur del estado. Por otra parte, la fecha que promete mayores esperanzas de éxito en el establecimiento del cultivo es

la que deriva del 80% de probabilidad de no excedencia, sin embargo, las desventajas a las que se expondría el productor es que en las siembras tardías de este tipo, debido a la intensidad de las precipitaciones y a que a principios del ciclo agrícola el suelo aún no está ocupado por las raíces de las plantas, existen muchas posibilidades de lixiviación y arrastre de sustancias nutritivas, mayormente en suelos del trópico, donde existe una baja capacidad de retención de humedad (Wambeke, 2003), además de que se incrementarían los gastos por conceptos de control de malas hierbas, que proliferan con mayor agresividad, una vez establecida la estación de crecimiento. Por otra parte, existe

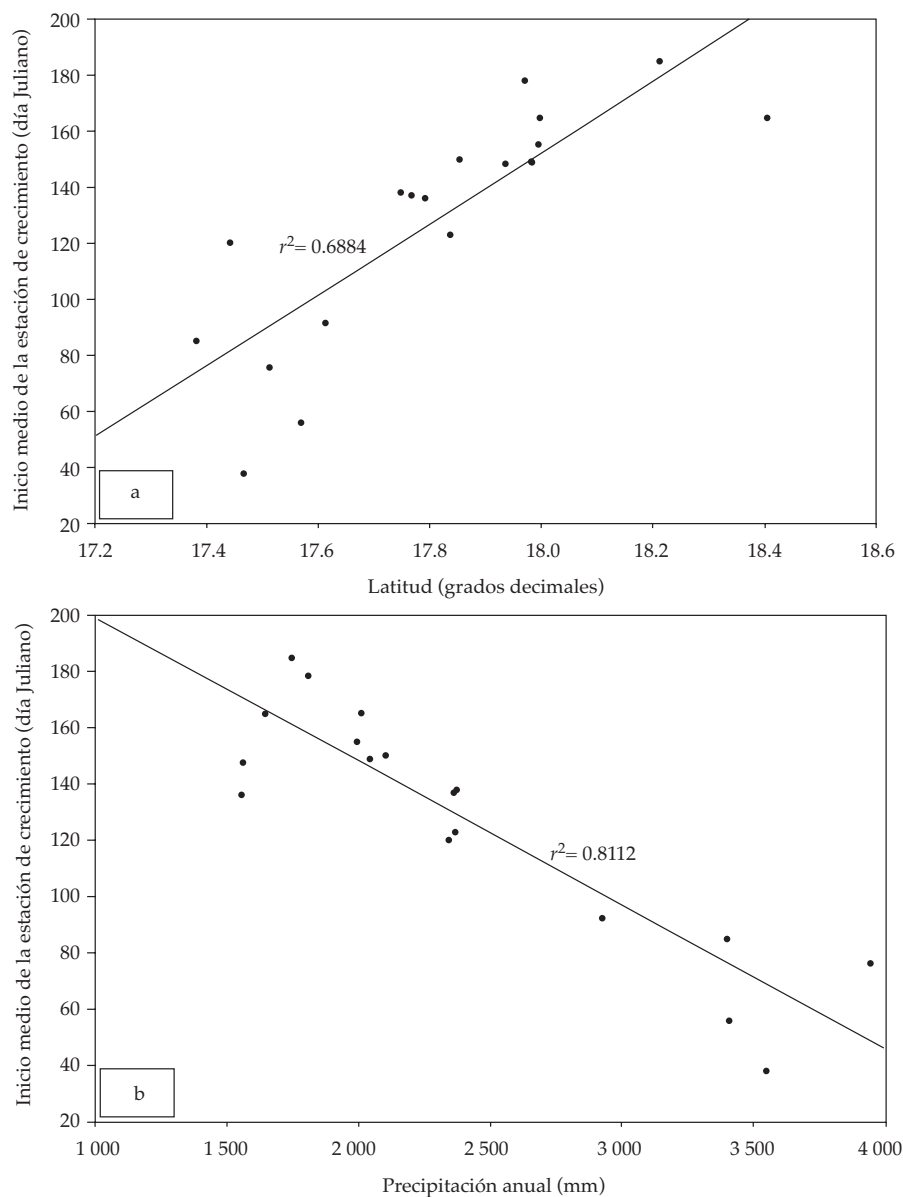


Figura 2. Relación entre el inicio medio de la estación de crecimiento con la latitud (a) y la precipitación anual (b).

el riesgo de cosechar cuando los precios del producto se mantienen bajos a causa de la saturación del mercado, por eso está visto que para vender a buen precio, los agricultores prefieren sembrar anticipadamente, aunque para esto la fecha sea determinada con base en su experiencia.

Periodos secos e inicio de la estación de crecimiento

A partir de las curvas de probabilidad de ocurrencia de periodos secos, se encontraron dos grupos de regiones, donde la ocurrencia de periodos secos se presentó de manera

Cuadro 3. Probabilidad de inicio de la estación de crecimiento en o antes de los días indicados.

Estación	Probabilidad (%)			
	20	40	60	80
Cárdenas	130	143	155	168
Francisco Rueda	77	109	136	168
Macuspana SMN	104	128	148	172
Paraíso	145	168	188	211
Villahermosa	139	157	173	192
Campo E. Puyacatengo*			125	145
Nacajuca	152	175	195	218
Boca del Cerro	82	109	132	159
Dos Patrias*		107	132	151
Macuspana DGE	103	127	148	172
Pueblo Nuevo	129	144	156	171
Samaria	131	148	162	179
San Pedro	108	128	145	164
Tapijulapa*				116
Teapa*				141
Tres Brazos	139	157	172	190
El Triunfo	132	143	153	164
Oxolotán*		1	134	148

El * que aparece para las estaciones Puyacatengo, Dos Patrias, Tapijulapa, Teapa y Oxolotán indica, respectivamente, que el primero de enero hay una probabilidad de 45, 33, 71, 61 y 40% de inicio de la estación de crecimiento.

diferente, uno con probabilidades < 50% en un periodo “largo” (figura 6) y otro con este tipo de probabilidades en un periodo “corto” (figura 7). Sin embargo, todas las estaciones presentaron altas probabilidades a partir del 27 de octubre, elevándose aún más hasta alcanzar valores muy cercanos a 1 (0.999) entre el 10 de marzo y el 22 de abril (figura 7), cuando según Velázquez (1994) se presentan lapsos secos que duran entre seis y siete semanas, con periodos de retorno de veinte años. Posteriormente, para el primer grupo se inició una drástica caída de la curva cuando la probabilidad fue mayor o igual a 95% (30 de abril) (figura 6); para el segundo grupo, esto inició cuando la probabilidad fue igual o mayor a 93% (17 de mayo) (figura 7). Es importante señalar que las probabilidades de mayor interés en agricultura de temporal son las menores a 50%, que es cuando existe menos riesgo de periodos secos para los cultivos;

para el grupo 1 (figura 6), éstas se presentaron entre el 21 de mayo y el 12 de octubre, y su interpretación se ejemplifica con las estaciones Oxolotán y Teapa, cuyas curvas de probabilidad de ocurrencia de periodos secos alcanzaron valores menores o iguales a 30% (del 29 de mayo al 2 de octubre para Oxolotán, y del 7 de junio al 27 de septiembre para Teapa), lo cual indica que en esa temporada se dan periodos secos con duración de siete días en tres de cada diez años; en Dos Patrias, debido a que la curva descendió a valores menores o iguales a 40% (del once de junio al dos de octubre), ocurren periodos secos en cuatro de cada diez años. Para el segundo grupo (figura 7), las probabilidades menores a 50% se dieron del 4 de agosto al 4 de octubre, un tiempo considerablemente menor comparado con el primer grupo. Por mencionar algunos ejemplos dentro de este rango, se encontraron Macuspana DGE (del 4

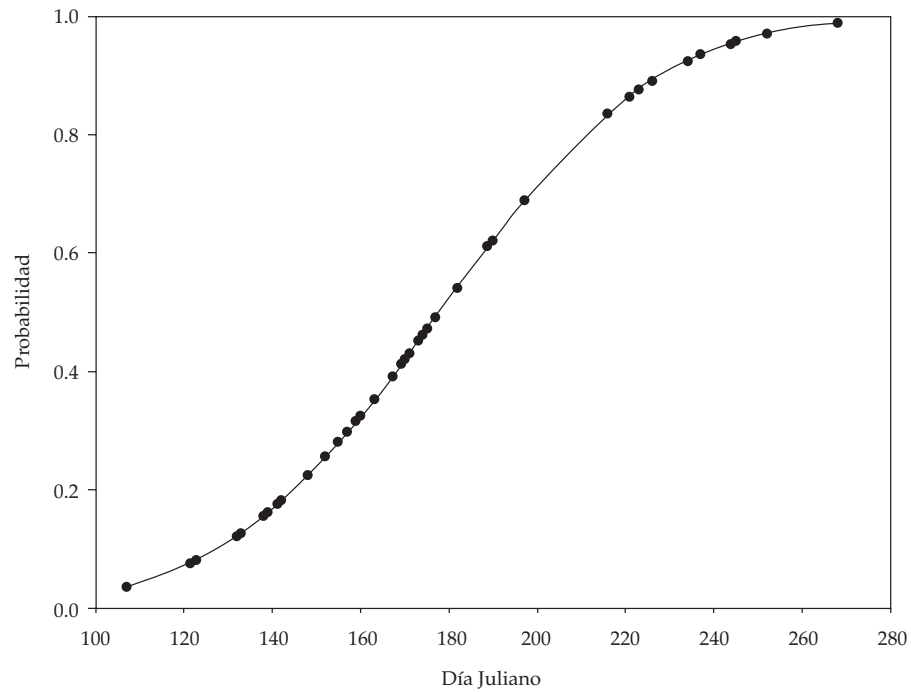


Figura 3. Análisis probabilístico del inicio de la estación de crecimiento (Paraíso).

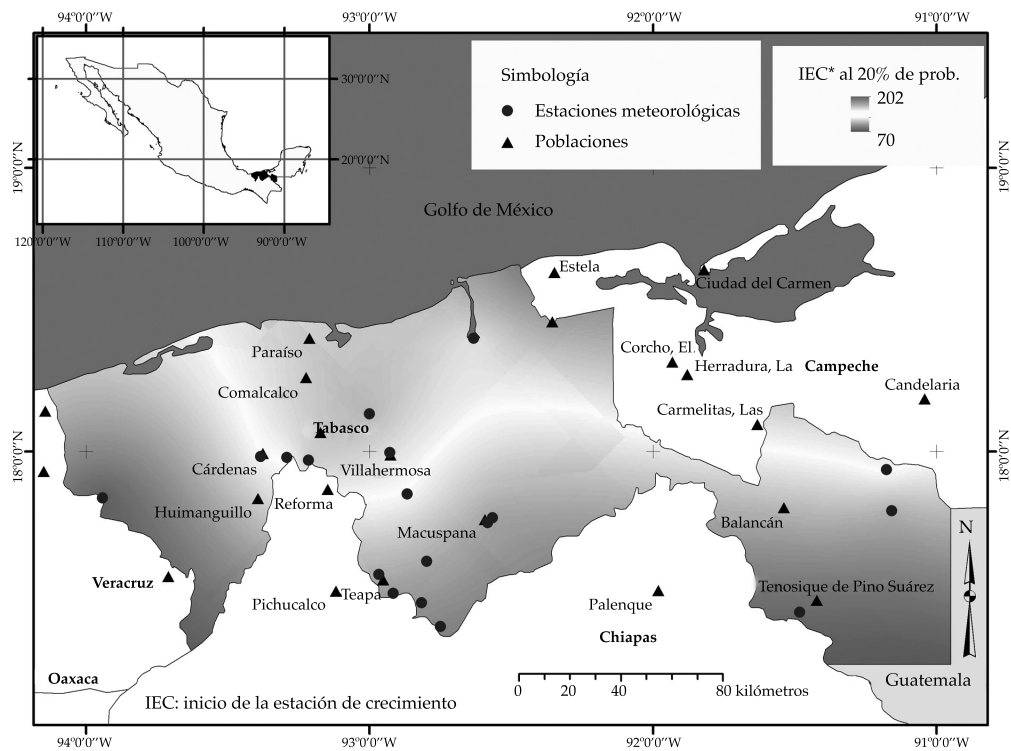


Figura 4. Distribución espacial del inicio de la estación de crecimiento al 20% de probabilidad de no excedencia.

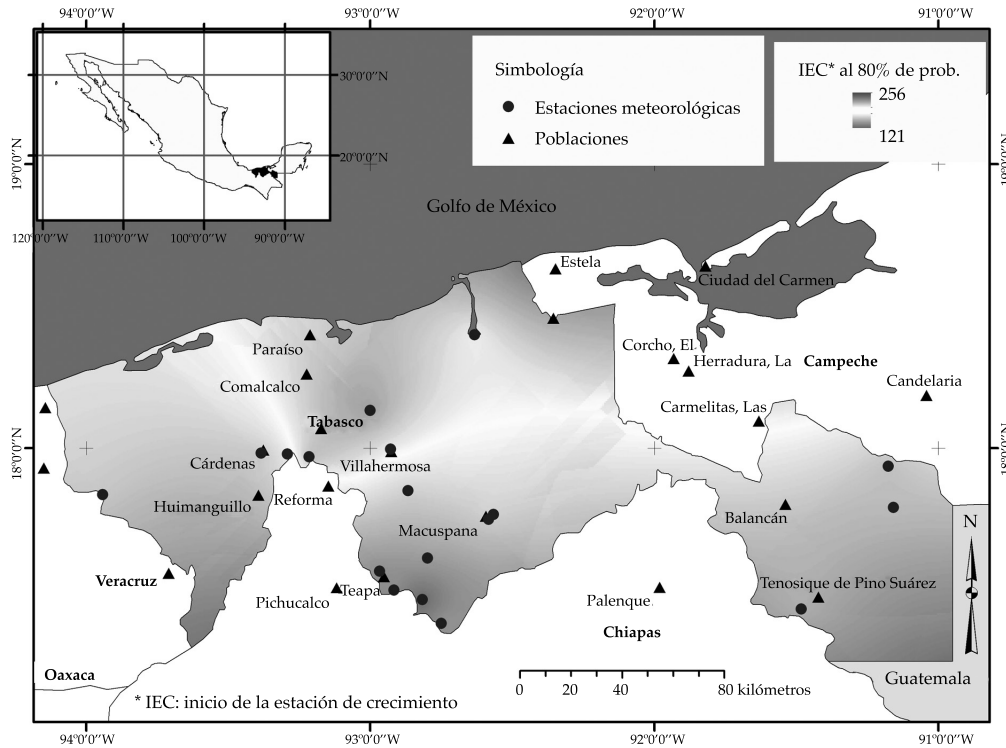


Figura 5. Distribución espacial del inicio de la estación de crecimiento al 80% de probabilidad de no excedencia.

de agosto al 4 de octubre); Pueblo Nuevo (del 8 de agosto al 1 de octubre), y Nacajuca (del 24 de agosto al 25 de septiembre). A partir de la diferencia en la duración de periodos con probabilidades de mayor importancia agrícola entre los dos grupos, puede decirse que el primero ofrece mejores condiciones a lo largo de la estación de crecimiento, y como en el segundo grupo el periodo de menor riesgo es muy corto (máximo dos meses), puede ser necesario implementar riego complementario para suministrar el agua que los cultivos requieren y que las precipitaciones no alcanzan a satisfacer. Un aspecto importante es que entre el 9 y 22 de julio todas las estaciones presentaron un aumento de la probabilidad, lo cual se debe a que en este lapso ocurre la sequía intraestival, que no es otra cosa más que días con altas temperaturas y escasa precipitación dentro de una temporada húmeda (Velázquez, 1994), originando para el grupo 1 (figura 6) los mayores aumentos (55%) el día 20 de julio

en Francisco Rueda, donde ocurren periodos secos de siete días en cinco de cada diez años; para el grupo 2 (figura 7), la mayor elevación de la probabilidad se da esa misma fecha en Paraiso, donde se presentan periodos secos en nueve de cada diez años.

La ocurrencia de periodos secos se relacionó de tres maneras diferentes con el inicio de la estación de crecimiento. Para la primera se encontraron regiones que al momento de iniciar la estación de crecimiento al 80% de probabilidad se presentaron probabilidades menores o iguales a 50% de ocurrencia de periodos secos (figura 8a), en este grupo está Puyacatengo (50%), Boca del Cerro (30%), San Pedro (36%), Oxolotán (32%), Francisco Rueda (36%) y El Triunfo (50%), por lo que estas regiones pueden destacarse como las de menos riesgo de presentar lapsos secos al inicio de la estación de crecimiento. La segunda incluye zonas que al inicio de la estación a la probabilidad indicada, su probabilidad de

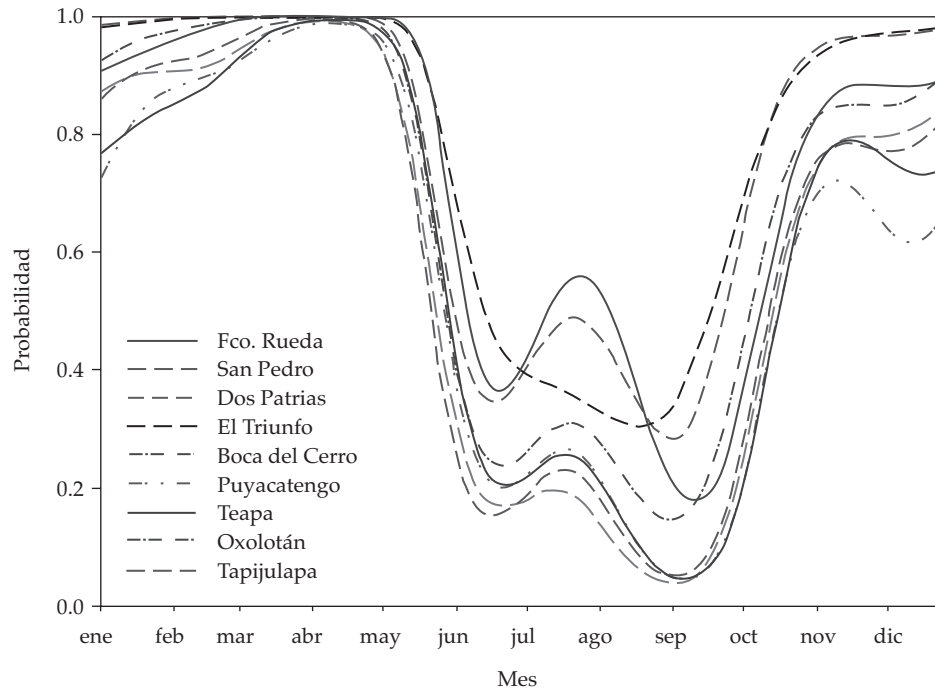


Figura 6. Estaciones con periodo largo de $P < 50\%$.

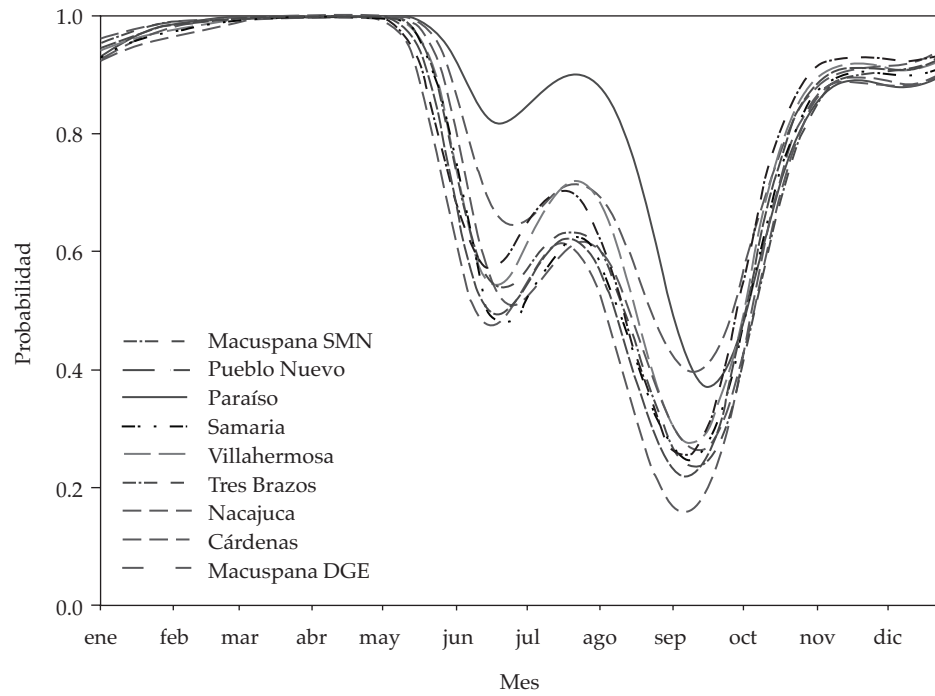


Figura 7. Estaciones con periodo corto de $P < 50\%$.

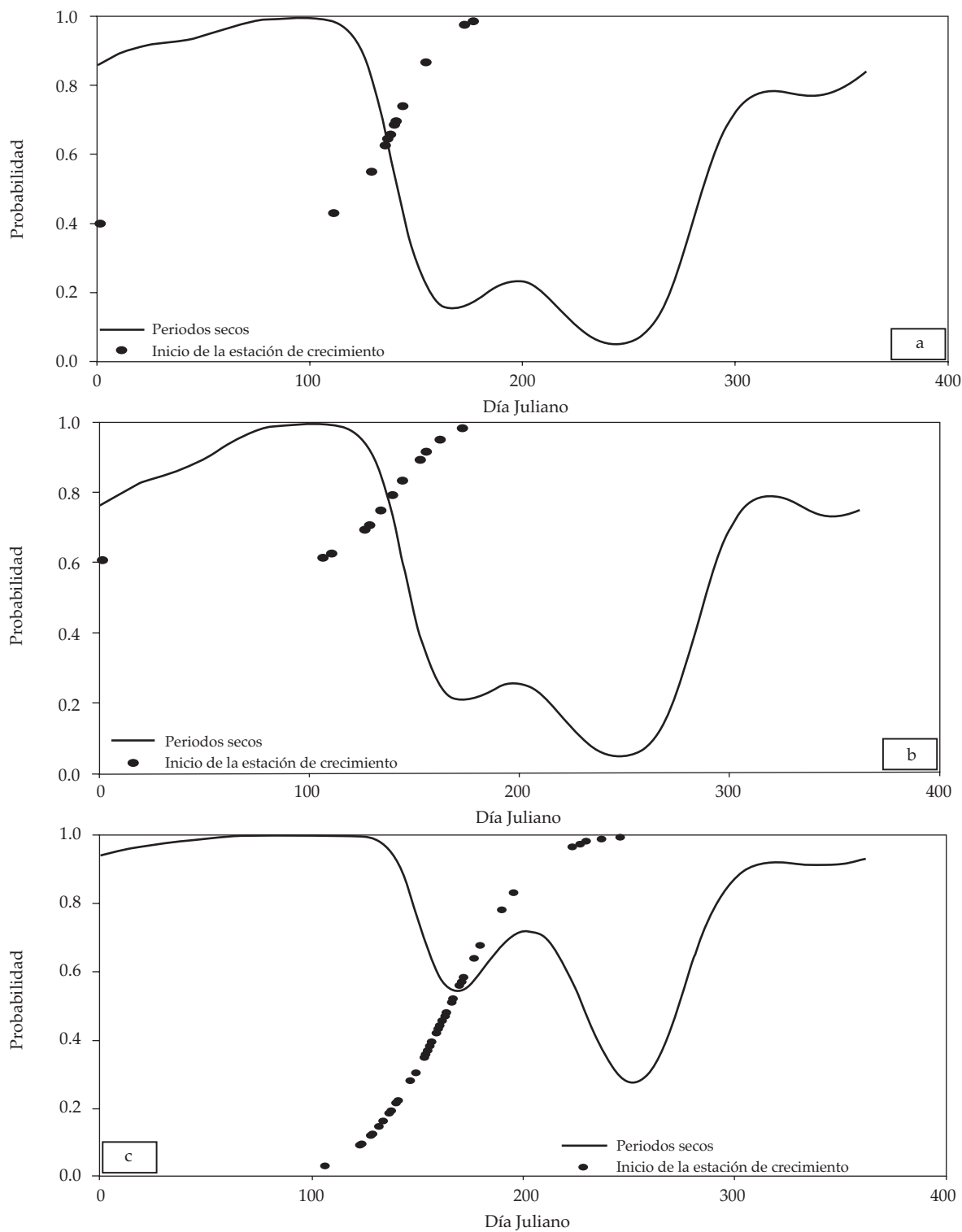


Figura 8. Estaciones representativas de las relaciones entre periodos secos e inicio de la estación de crecimiento: a) Oxolotán, b) Teapa y c) Villahermosa.

ocurrencia de periodos secos osciló entre 94 y 60% (figura 8b); sin embargo, es importante señalar que para este grupo, el riesgo de periodos secos se mantuvo a la baja, aquí figuran Tapijulapa (94%), Teapa (72%) y Dos Patrias (60%), y a pesar de que presentaron probabilidades altas de periodos secos al inicio de la estación de crecimiento, éstas llegaron a niveles inferiores de 38% (Dos Patrias) en la temporada de mayores precipitaciones. La tercer forma comprende localidades que al inicio de la estación de crecimiento al 80%, la probabilidad de ocurrencia de periodos secos fue mayor o igual a 50% (figura 8c); en la mayoría de los casos, estas curvas se encontraban ascendiendo y sus probabilidades de ocurrencia de periodos secos menores a 50% se presentaron en un periodo corto; en este grupo se encuentran las nueve estaciones restantes y son las que aparecen en la figura 7; sus probabilidades de ocurrencia de periodos secos (al inicio de la estación) variaron entre 50 (Macuspana DGE y Pueblo Nuevo) y 88% (Paraíso), que junto con Teapa, Tapijulapa y Dos Patrias (figura 6) son las que presentan mayor riesgo de sequía al inicio de la estación de crecimiento, con el nivel de probabilidad mencionado.

Conclusiones

Se estudió el inicio de la estación de crecimiento en Tabasco a partir de los resultados del balance hídrico para el 20, 40, 60 y 80% de probabilidad de no excedencia; también se analizó la probabilidad de ocurrencia de periodos secos de siete días con el umbral de 1 mm.

Las fechas del balance hídrico y procesadas con la distribución normal son un buen indicador del inicio probabilístico de la estación de crecimiento porque involucra variables de suelo y clima.

La estación de crecimiento inicia anticipadamente en regiones que se ubican al sur del estado de Tabasco y con dirección a las montañas del norte de Chiapas; estas regiones presentan los valores más altos de precipitación

total anual. En regiones ubicadas al norte del estado, el inicio de la estación se retrasa.

En Tabasco, el inicio de la estación de crecimiento al 80% de probabilidad se da entre los días 116 (26 de abril) y 218 (6 de agosto).

En fechas de siembra tardías (80% de inicio de la estación de crecimiento), Boca del Cerro, San Pedro, Oxolotán y Francisco Rueda presentan periodos secos de siete días en tres de cada diez años; mientras que en Puyacatengo, El Triunfo, Macuspana DGE y Pueblo Nuevo, ocurren en cinco de cada diez; para Dos Patrias, Cárdenas, Macuspana SMN, Samaria y Tres Brazos, se presentan en seis de cada diez; en Teapa, Villahermosa y Nacajuca, en siete de cada diez; en Tapijulapa y Paraíso, en nueve de cada diez.

En Macuspana, Cárdenas, Pueblo Nuevo, Paraíso, Samaria, Villahermosa, Tres Brazos y Nacajuca, donde las probabilidades de periodos secos menores a 50% se dan en un periodo corto, puede requerirse de riego complementario.

Recibido: 29/11/10

Aceptado: 05/12/11

Referencias

- ALLEN, R., PEREIRA, D. y SMITH, M. *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Núm. 56. Roma: FAO, 2006, 298 pp.
- ALYAMANI, M. and SEN, Z. Spatiotemporal dry and wet spell duration distributions in Southwestern Saudi Arabia. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 57, No. 3-4, 1997, pp. 165-179.
- ARTEAGA, R., VÁZQUEZ, M., CORAS, P. y ÁNGELES, V. Componentes de la estación de crecimiento, variación temporal y espacial en Chapingo, México. *Ingeniería hidráulica en México*. Vol. XXI, núm. 2, abril-junio de 2006, pp. 57-68.
- AVIAD, Y., KUTIEL, H., and LAVEE, H. Analysis of beginning, end, and length of the rainy season along a Mediterranean-arid climate transect for geomorphic purposes. *Journal of Arid Environments*. Vol. 59, No. 1, 2004, pp. 189-204.
- BENOIT, P. The start of the growing season in northern Nigeria. *Agricultural Meteorology*. Vol. 18, No. 2, 1977, pp. 91-99.

- BROWER, C., PRINS, K. y HEIBLOEM, M. Programación del riego. Manejo del agua de riego, manual de campo. Núm. 4. Roma: FAO, 1990, 45 pp.
- CINDRIĆ, K., PASARIĆ, Z., and ČAPKA, M. Spatial and temporal analysis of dry spells in Croatia [en línea]. Croatia: Springer, febrero de 2010 [citado el 26 de abril de 2010]. Disponible para World Wide Web: <http://springerlink.metapress.com/content/u1555q2175w24561/fulltext.pdf>.
- DENI, S., JEMAIN, A., and IBRAHIM, K. The spatial distribution of wet and dry spells over Peninsular Malaysia. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 94, No. 3-4, 2008, pp. 163-173.
- DOORENBOS, J. y KASSAM, A. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. No. 33. Roma: FAO, 1979, 212 pp.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W. Las necesidades de agua de los cultivos. Núm. 24. Segunda edición. Roma: FAO, 1977, 193 pp.
- ELDIN, M. A system of agroclimatic zoning to evaluate climatic potential for crop production. *Agroclimate information for development. Revoiving the green revolution*. Cusack, D.F. (editor): Boulder, USA: Westview Press, 1983, pp. 83-91.
- ENGELBRECHT, B., DALLING, J., PEARSON, T., WOLF, R., GÁLVEZ, D., KOEHLER, T., TYREE, M., and KURSAR, T. Short dry spells in the wet season increase mortality of tropical pioneer seedlings. *Oecología*. Vol. 148, No. 2, 2006, pp. 258-269.
- FAUSTINE, F., TILYA, S., and MOHAMED, S. Frequency of wet and dry spells in Tanzania. *Climate and land degradation*. Sivakumar, K. and Ndiang'Ui, N. (editors). New York: Springer, 2007, 623 pp.
- HACHIGONTA, S., REASON, C., and TADROS, M. An analysis of onset date and rainy season duration over Zambia. *Theoretical and applied climatology*. Vol. 91, No. 4, 2008, pp. 229-243.
- HERSHFIELD, D. The frequency of dry periods in Maryland. *Chesapeake science*. Vol. 12, No. 2, 1971, pp. 72-84.
- IMTA. Extractor rápido de información climatológica, v. 3. Disco. Colección de proyectos IMTA. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2007.
- LUENGO, M., CEBALLOS, A., MARTÍNEZ, J. y YUSTE, C. Las rachas secas en sector central de la Cuenca del Duero. *Investigaciones geográficas*. Núm. 27, 2002, pp. 65-82.
- MUGALAVAI, E., KIPKORIR, E., RAES, D., and RAO, M. Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and forest meteorology*. Vol. 148, No. 6-7, 2008, pp. 1123-1135.
- ODEKUNLE, T. Rainfall and the length of the growing season in Nigeria. *International Journal of Climatology*. Vol. 24, No. 4, 2004, pp. 467-479.
- ORTIZ, C. Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana. Tercera edición. Chapingo, México: Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, 1987, 327 pp.
- PALACIOS, E. ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? México, D.F.: Trillas, 2002, 214 pp.
- PALMA, D., CISNEROS, J., MORENO, E. y RINCÓN, J. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Villahermosa, México: Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco-Fundación Produce Tabasco, 2007, 195 pp.
- RAES, D., SITHOLE, A., MAKARAU, A., and MILFORD, J. Evaluation of first planting dates recommended by criteria currently used in Zimbabwe. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 125, No. 3-4, 2004, pp. 177-185.
- SAÍD, G. y ZÁRATE, G. Métodos estadísticos. Segunda edición. México, D.F.: Trillas, 2001, 643 pp.
- SIVAKUMAR, K. Predicting rainy season potential from onset of rains in southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 42, No. 4, 1988, pp. 295-305.
- STERN, R., RIJKS, D., DALE, I., and KNOCK J. *Instat climatic guide*. Tercera edición. Reading, UK: Universidad de Reading, 2006, 322 pp.
- THOM, S. The distribution of freeze data and freeze-free period for climatological series with freeze-less years. *Monthly Weather Review*. Vol. 87, No. 4, 1959, pp. 136-144.
- VELÁZQUEZ, G. Los recursos hidráulicos del estado de Tabasco: ensayo monográfico. Villahermosa, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 1994, 242 pp.
- WAMBEKE, A. *Soils of the Tropics: Properties and Appraisal*. New York: McGraw Hill, 2003, 343 pp.

Abstract

RUIZ-ÁLVAREZ, O., ARTEAGA-RAMÍREZ, R., VÁZQUEZ-PEÑA, M.A., ONTIVEROS-CAPURATA, R.E. & LÓPEZ-LÓPEZ, R. Onset of the growing season and dry periods in Tabasco, Mexico. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*. Vol. III, No. 2, April-June, 2012, pp. 85-102.

In rainfed agriculture, information about dates for the onset of rainy periods is used to plan activities inherent to exploitation, and even determines the success or failure of crops. The results are partially reflected after planting (germination) and at harvesting time. Dry periods are another very important factor to the agricultural cycle, causing poor germination, stunted growth, deficient development and considerable reductions in yield. Therefore, an analysis was performed at the onset of the growing season in Tabasco in order to identify different levels of probabilities for the dates for the beginning of this period. The frequency of 7-day dry periods was also studied (defined by a threshold of 1 mm) using daily rainfall and evaporation information from 18 weather stations in the state. A relationship was found between the average start of the growing season with the latitude and average annual rainfall. This was corroborated by a linear regression analysis, in which values for r^2 of 0.6884 and 0.8112 were found for each case. The earliest dates for the beginning of the growing season relate to low probabilities for the onset of the rainy season; Tabasco has three regions in which the beginning of the growing season (80%) is distinctly affected by the occurrence of 7-day dry periods.

Keywords: growing season, water balance, rainfed agriculture, normal distribution, dry spell, yield.

Dirección institucional de los autores

M.I. Osías Ruíz Álvarez

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas
y Pecuarias
Campo Experimental Valle del Guadiana
kilómetro 5 carretera Durango-El Mezquital
34000 Durango, Durango, México
Teléfono: +52 (618) 8260 433
ruiz.osias@inifap.gob.mx

Dr. Ramón Arteaga Ramírez
Dr. Mario Alberto Vázquez Peña
M.I. Ronald Ernesto Ontiveros Capurata

Universidad Autónoma Chapingo
kilómetro 38.5 carretera México-Texcoco sin número
56230 Chapingo, Estado de México, México
Teléfono: +52 (595) 9521 500, extensión 5157
rarteagar@taurus.chapingo.mx
mavazquez.coahuila@gmail.com
rononti@gmail.com

Dr. Rutilo López López

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas
y Pecuarias
Campo Experimental Huimanguillo
kilómetro 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas
86401 Huimanguillo, Tabasco, México
Teléfonos: +52 (917) 3750 516, 3750 398
Fax: +52 (917) 3750 397
rutilopez@hotmail.com
lopez.rutilo@inifap.gob.mx