

Modelos para predecir precipitación probabilística en Tabasco México generados con información publicada

Eugenio Romantchik Kriuchkova^{1§}

Ramón Arteaga-Ramírez^{1§}

Rocío Cervantes Osornio²

Mario A. Vázquez-Peña¹

¹Departamento de Irrigación- Universidad Autónoma Chapingo. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

§Autor para correspondencia: arteagarr@gmail.com.

Resumen

Las estaciones climatológicas generalmente presentan datos perdidos en sus registros, lo que complica realizar estudios probabilísticos en este caso de la precipitación. Pero existe información publicada que se obtiene para tal fin, por lo que, el objetivo fue generar modelos para predecir precipitación probabilística en el estado de Tabasco con información publicada. Se contó con información publicada de forma gráfica de 19 estaciones en el estado de Tabasco, de éstas se tomó la precipitación media y se generó la precipitación probabilística a los niveles de 80, 60, 40 y 20%, se utilizó el modelo lineal simple y se generaron cuatro modelos para estimar la precipitación probabilística a los niveles indicados en función de la precipitación media con los datos de 17 estaciones, las otras dos se utilizaron en la validación de los modelos. Para definir la bondad predictiva de éstos, se utilizó la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCCME). Los cuatro modelos generados presentaron buen ajuste, ya que sus coeficientes de determinación fueron de 0.959, 0.985, 0.991 y 0.97, en los niveles de probabilidad de 80, 60, 40 y 20% respectivamente. Los valores de la RCCME variaron de 4.6 a 27.7 mm lo que indica que los modelos son buenos pronosticadores.

Palabras clave: estimación de precipitación, modelo lineal, raíz cuadrada del cuadrado medio del error y zonificación de cultivos.

Recibido: junio de 2018

Aceptado: julio de 2018

Introducción

La influencia de los elementos meteorológicos en las actividades primarias del hombre se concebía desde los albores de la humanidad, actualmente no debe sorprender que esta influencia sea necesario atenderla y entenderla, dado que gran parte de la superficie para la producción agrícola en México se realiza en condiciones de temporal (secano). Lazcano (2006) reporta que anualmente se siembran 22 millones de hectáreas, de las cuales seis millones cuentan con agua de riego y las 16 restantes dependen de la precipitación que se recibe directamente en las parcelas.

En México por su posición geográfica y su orografía abrupta, se origina una distribución pluvial irregular tanto espacial como temporal. Por lo que se debe enfrentar a una lucha permanente contra deficiencias o excesos del agua, según la región de que se trate, por lo que se requiere analizar la distribución espacial y temporal de la precipitación, como lo señalan Lozada y Cesar (2003). Ambas formas son de gran utilidad en el conocimiento de la disponibilidad de agua. Loomis y Connor (2002) consideran que la agricultura de temporal en las zonas húmedas podría considerarse afortunada al disponer libremente de un bien como el agua. Sin embargo, el suministro de agua es pocas veces el ideal, al variar desde excesos en varios momentos hasta deficiencias pasajeras en otros.

Pero señalar que los recursos del clima no han sido utilizados en aquellas regiones donde el clima es húmedo o semihúmedo, o sea donde se ofrecen teóricamente condiciones únicas para la agricultura de temporal, ya que el recurso lluvia es abundante y se combina con temperaturas altas en todo el año y además no se presentan bajas temperaturas que dañen a los cultivos (Bassols, 1998).

Desde el punto de vista agroclimatológico interesa conocer de la precipitación: su cantidad total anual, su distribución a través de los meses, su frecuencia y su intensidad (cantidad y duración), además el efecto de la precipitación depende de la cantidad de la lámina de lluvia acumulada en el año, también de su distribución temporal, y ésta es muy desigual en el transcurso del año, así como su variabilidad interanual e intrazonal (Smith, 2000).

En general, al analizar la variabilidad de la precipitación y la estimación de probabilidades en su aplicación a la agricultura, se trata de saber con que frecuencia el suelo recibirá determinada cantidad de precipitación y la frecuencia con que ese suelo recibirá una cantidad inferior o superior a ella. García-Benavides (1979) indica que la respuesta se especifica en forma de fracción o porcentaje de probabilidad, por ejemplo: 0.8 ó 80% de probabilidad de excedencia o bien como periodo de frecuencia, un año de cada cinco, uno de cada cuatro, etc., también propone que estos niveles de probabilidad se derivan de consideraciones económicas de acuerdo con los cuales se acepta que la producción de un cultivo sea económicamente aceptable.

Para analizar la variabilidad de la precipitación se requiere contar con datos medidos por muchos años y en diferentes lugares de una región, estado o país, pero desafortunadamente como lo indica Campos (2007), hay muchas estaciones climatológicas que sus registros estén incompletos, o falten uno o varios meses seguidos en uno o más años, en este caso las

estaciones de Tabasco no son la excepción. El objetivo principal fue generar modelos para calcular la precipitación probabilística mensual en función de la precipitación media mensual en el estado de Tabasco, con información publicada.

Materiales y métodos

Se utilizó información que presenta García (1977) en su publicación de climas para el estado de Chiapas y Tabasco. En el Cuadro 1 se tienen los números de identificación de las estaciones del estado de Tabasco empleadas, su precipitación total para diferentes niveles de probabilidad de excedencia y el valor medio anual y en la Figura 1 se observa su localización en el estado, su nombre y número de identificación.

Cuadro 1. Estaciones climatológicas que se utilizaron en el estudio y su precipitación total (mm) a diferentes niveles de probabilidad de excedencia. García (1977).

Estación	Precipitación total (mm) a los niveles de probabilidad(%) indicados				Precipitación media anual (mm)
	80	60	40	20	
001	620.0	1 029.0	1 471.0	2 328.0	1 335.4
002	930.0	1 305.5	1 793.0	2 472.0	1 675.5
003	1 308.0	1 843.0	2 353.0	3 095.0	2 150.1
004	1 071.0	1 533.0	2 109.0	2 887.0	1 900.3
006	1 019.0	1 571.0	2 177.0	3 172.0	1 985.0
007	1 783.0	2 509.0	3 231.0	4 196.0	2 930.0
008	1 041.0	1 505.0	2 033.0	2 760.0	1 835.0
009	1 184.0	1 702.0	2 242.0	3 045.0	2 043.5
010	983.0	1 441.0	1 967.0	2 746.0	1 784.6
011	1 238.0	1 865.0	2 508.0	3 374.0	2 246.6
012	1 325.0	1 868.0	2 390.0	3 173.0	2 189.3
015	1 103.6	1 562.6	2 078.8	2 671.1	1 982.0
016	1 001.9	1 431.4	1 939.8	2 611.7	1 857.7
017	853.7	1 213.4	1 630.3	2 205.6	1 580.1
018	1 610.0	2 350.0	3 195.0	4 135.0	2 797.8
019	2 145.0	2 880.0	4 000.0	4 975.0	3 470.2
020	1 165.0	1 690.0	2 257.0	2 855.0	2 004.5
021	876.0	1 268.0	1 656.0	2 315.0	1 529.1
022	1 001.0	1 489.0	1 969.0	2 887.0	1 791.9

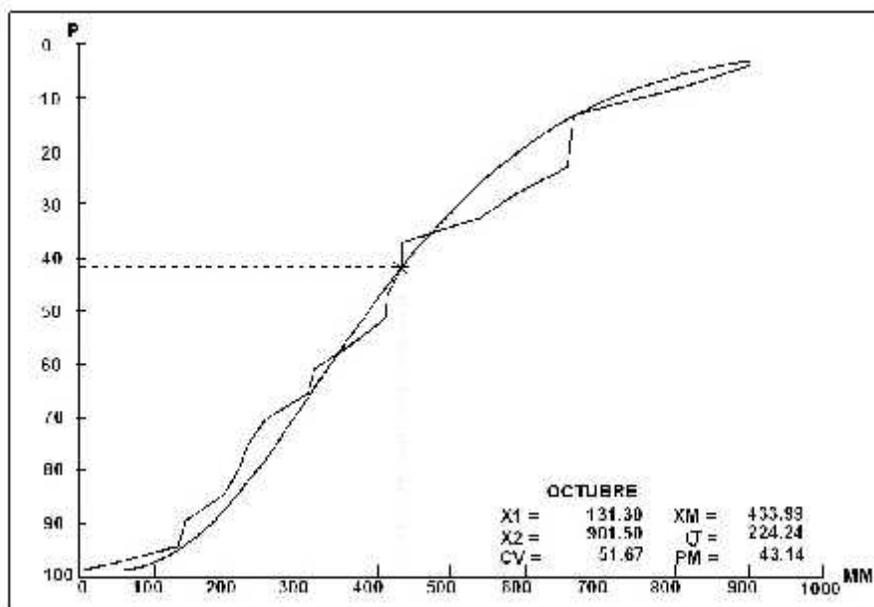


Figura 2. Distribución probabilística empírica y teórica del mes de octubre. García (1977).

Con los datos obtenidos en el paso anterior se realizaron cuatro diagramas de dispersión (uno para cada nivel de probabilidad), donde la variable independiente es la precipitación media mensual y la dependiente la cantidad de precipitación mensual a un nivel de probabilidad.

Con las tendencias que presentaron los diagramas de dispersión se procedió ajustar el modelo correspondiente, se utilizó el lineal simple y según Said y Zárate (2000) para conocer el ajuste del modelo se necesita determinar el coeficiente de determinación (r^2).

Por último la validación de los modelos obtenidos consiste en estimar con los modelos lineales obtenidos y con los datos medidos de precipitación media mensual en las estaciones 008 y 015 los datos de lluvia mensual probabilística para cada nivel de probabilidad, estos datos estimados se compararon con los datos obtenidos de las figuras de estas dos estaciones que presentan García (1977), que se consideran como valores observados o medidos. Se realizaron dos comparaciones, la primera fue con el método de regresión lineal simple, si los datos estimados (E) son semejantes a los medidos (M), el modelo lineal sería $M = E$, por lo que, los criterios en evaluar que tan bueno estimador es un modelo son: si el valor de 'a' es cercano a cero y el de 'b' a uno (Donatelli *et al.*, 2004; Allen *et al.*, 2006). El segundo método para definir que tan buenos pronosticadores de los datos son los modelos obtenidos, fue el de la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCCME), ya que estudios realizados por George *et al.* (2000); Caí *et al.* (2007); Tojo *et al.* (2007); Kang *et al.* (2009) indican que este índice es utilizado para evaluar la bondad de ajuste de un modelo y se calcula con la siguiente relación:

$$R = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (E_i - M_i)^2}{N} \right)$$

Donde: E_i valor estimado; M_i valor medido; y N = número de observaciones.

Resultados

Como se observa en las Figuras 3 a 6, donde se presentan los diagramas de dispersión entre la precipitación media mensual de todos los meses (12) y todas las estaciones (17) con la cantidad de precipitación de los niveles de probabilidad que se consideraron en este estudio, todas las tendencias son lineales.

En el Cuadro 2, se presentan los valores de la ordenada al origen (a) como de la pendiente (b) de cada uno de los modelos obtenidos, así como su r^2 . Como se indicó los datos de las estaciones 008 y 015, que se seleccionaron al azar, no se consideraron en el cálculo de los coeficientes de los modelos obtenidos (Cuadro 2) en cada nivel de probabilidad, para que con éstas se validaran dichos modelos.

Cuadro 2. Coeficientes y estadístico de los modelos obtenidos entre la cantidad de precipitación media mensual y la probabilística.

Probabilidad (%)	a	b	r^2
20	35.2	1.286	0.970
40	- 1.6	1.113	0.991
60	- 17.1	0.921	0.985
80	-26.2	0.723	0.959

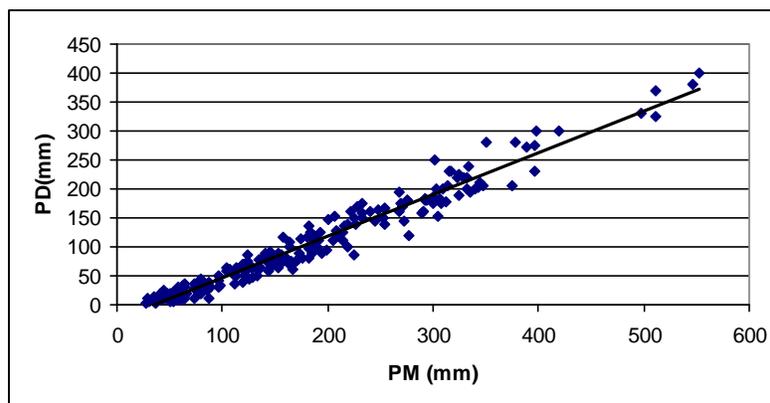


Figura 3. Diagrama de dispersión entre la precipitación media mensual (PM) de todos los meses (12) y estaciones (17) y la precipitación probabilística (PD) al 80%.

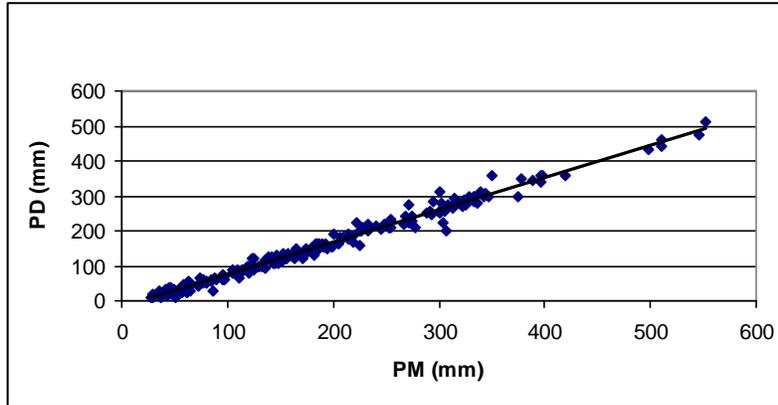


Figura 4. Diagrama de dispersión entre la precipitación media mensual (PM) de todos los meses (12) y estaciones (17) y la precipitación probabilística (PD) al 60%.

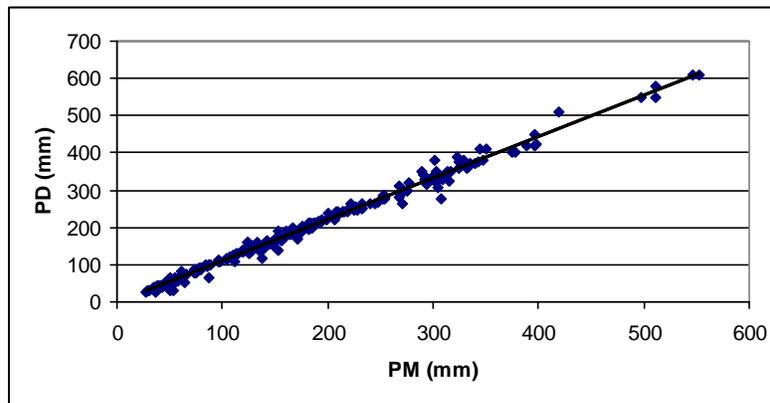


Figura 5. Diagrama de dispersión entre la precipitación media mensual (PM) de todos los meses (12) y estaciones (17) y la precipitación probabilística (PD) al 40%.

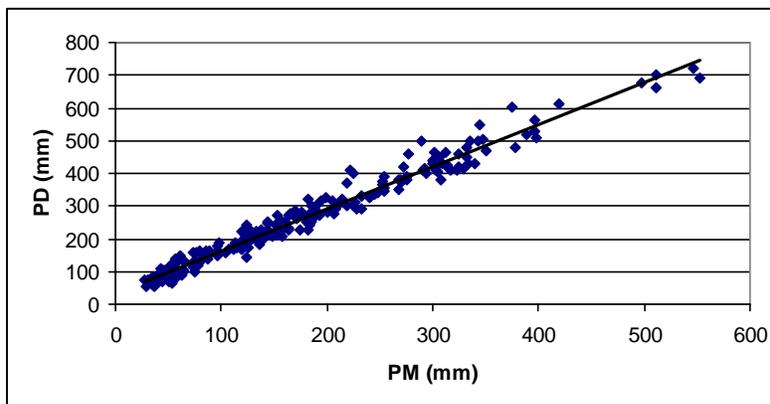


Figura 6. Diagrama de dispersión entre la precipitación media mensual (PM) de todos los meses (12) y estaciones (17) y la precipitación probabilística (PD) al 20%.

En el Cuadro 3 se presentan los valores de 'a' y 'b' y su coeficiente de determinación en cada nivel de probabilidad, de las estaciones 008 y 015, al comparar los valores estimados de cantidad de lluvia probabilística con los modelos obtenidos (Cuadro 2) a partir de su precipitación media con los datos obtenidos (medidos) de las figuras que presenta García

(1977), los datos estimados son muy semejantes a los medidos. En el Cuadro 4 se tienen los valores obtenidos de la raíz cuadrada del cuadrado medio del error por estación y nivel de probabilidad.

Cuadro 3. Validación de los modelos con los datos de la estación 008 y 015.

Estación	Probabilidad (%)	a	b	r ²
008	20	7.3	0.960	0.990
	40	5.9	0.970	0.999
	60	- 3.4	1.040	0.997
	80	2.0	1.005	0.992
015	20	- 28.0	1.012	0.990
	40	-10.8	1.010	0.994
	60	-5.1	1.002	0.990
	80	0.3	0.984	0.997

Cuadro 4. Valores de la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (mm).

Estación	Probabilidad (%)			
	20	40	60	80
008	13.6	4.6	6.6	7.1
015	27.7	11.8	9.7	9.8

En la Figura 7 se presentan los datos de precipitación estimada con los modelos, contra la medida en los niveles de probabilidad 20 y 40%, en la estación 008 se observa que para ambos niveles de probabilidad se presenta una estimación muy buena ya que todos los datos están muy próximos a la recta teórica 1:1.

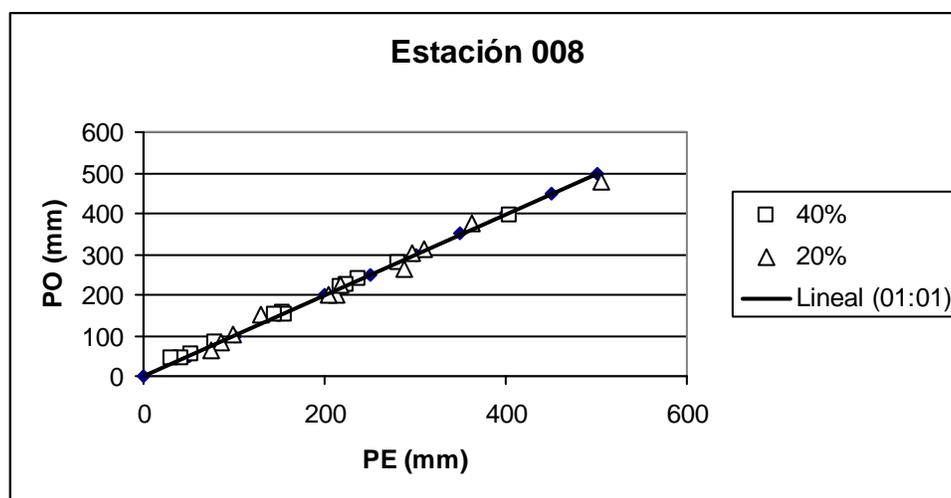


Figura 7. Comparación de valores de lluvia media mensual (medida, PO) versus estimada (PE).

En la Figura 8 se tienen los datos de la estación 015 para 20 y 80%, el primero fue el que no presentó una muy buena estimación, se observa que son algunos datos los que están cerca de la línea teórica (1:1) y los valores estimados subestiman a los observados, lo que se verifica con los datos que se presentan en el Cuadro 3 ($a = -28$ y $b = 1.012$). En el segundo todos los puntos están sobre la línea teórica 1:1 ($a = 0.3$ y $b = 0.984$).

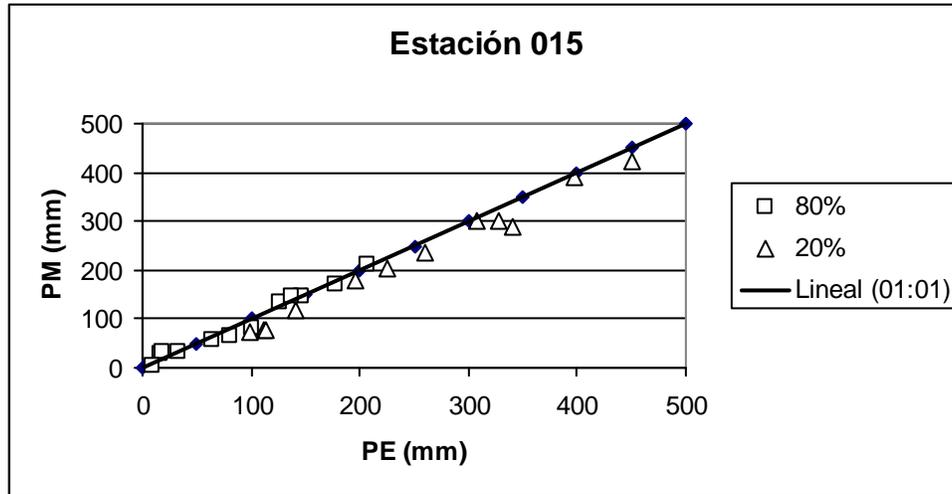


Figura 8. Comparación de valores de lluvia media mensual (medida, PO) versus estimada (PE).

La precipitación media anual (Cuadro 1), varía de 1 335.4 a 3 470.0, en 80% de probabilidad de excedencia es de 620 a 2 145 y 20% de 2 328 a 4 975, estos valores corresponden a la estación 001 (Frontera) y 019 (Teapa) respectivamente.

En las Figuras 9 y 10 se observa la variación temporal de la precipitación media y en los diferentes niveles de probabilidad considerados, en las estaciones 001 y 019 respectivamente, con las cuales en forma puntual (para cada estación) se define la variación del potencial hídrico con que se cuenta y en qué meses.

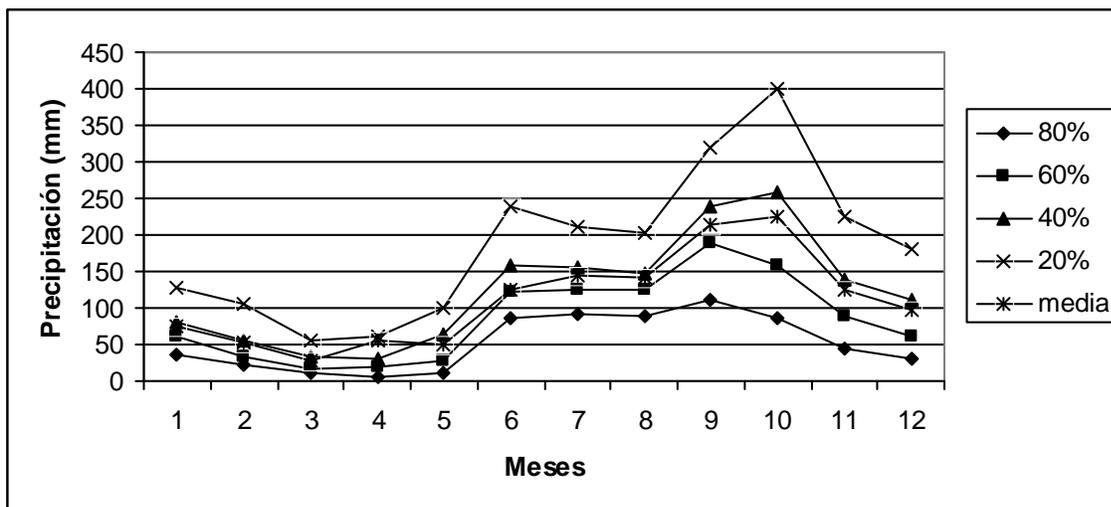


Figura 9. Variación temporal de la precipitación mensual en la estación 001, para cada uno de los niveles de probabilidad de excedencia indicados.

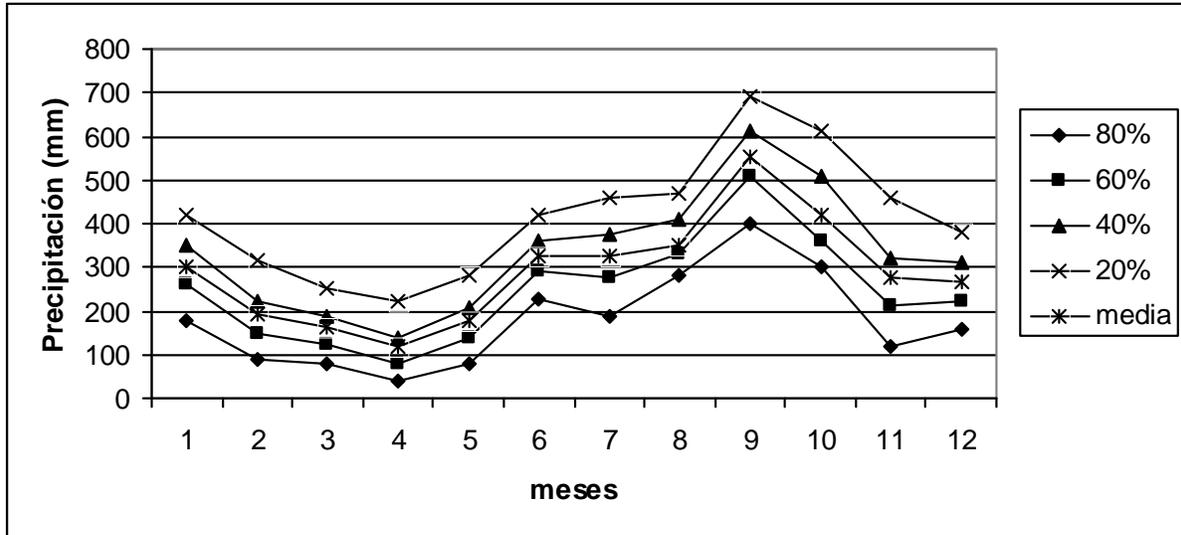


Figura 10. Variación temporal de la precipitación mensual en la estación 019, para cada uno de los niveles de probabilidad de excedencia indicados.

En la Figura 11 se presenta únicamente el plano de isoyetas de precipitación medias para el mes de julio tomado de García (1977), en éste se ven las isoyetas de 150, 200, 250, 300 y 400 mm, éstas se transformaron a nuevos valores de isoyetas probabilísticas con los modelos obtenidos, en el Cuadro 5 se dan estos, con los cuales, se generaron cuatro planos uno para cada nivel de probabilidad, con lo que se tiene la variabilidad espacial y temporal de la precipitación.

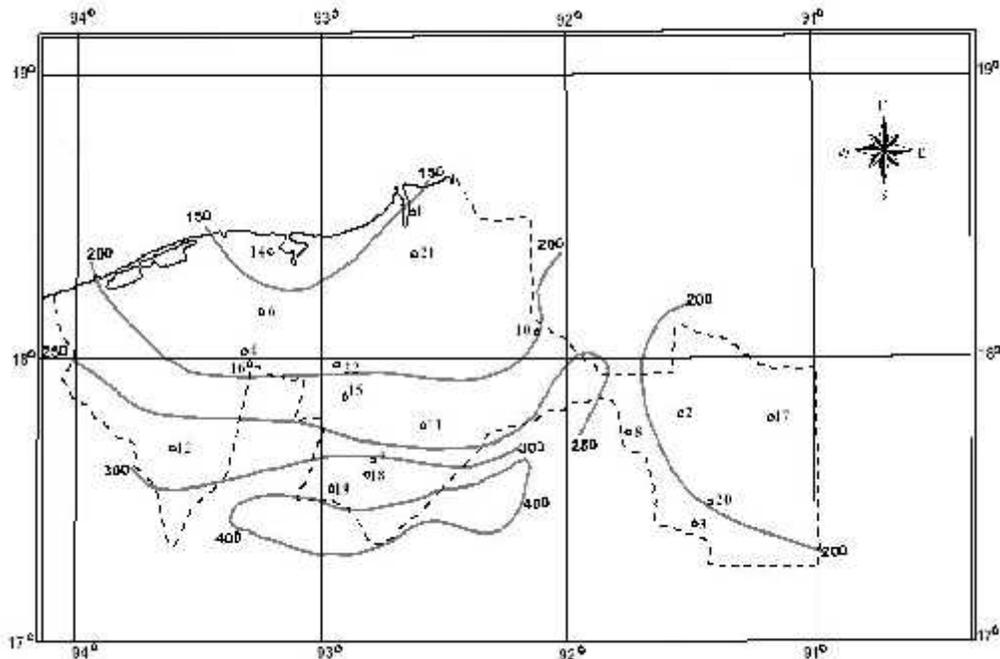


Figura 11. Precipitación media del mes de julio en mm. García (1977).

Cuadro 5. Isoyetas de julio con sus nuevos valores obtenidos con los modelos generados (mm).

Isoyeta de Julio	Nuevos valores de las isoyetas (mm) para la Probabilidad (%) indicada			
	20	40	60	80
150	228.1	165.4	121.1	82.3
200	292.4	221.0	167.1	118.4
250	356.7	276.7	213.2	154.6
300	421.0	332.3	259.2	190.7
400	549.6	443.6	351.3	263.0

Discusión

Todos los modelos lineales presentaron buen ajuste semejante a lo que determina Hargreaves (1975 y 1977). El mejor fue el del nivel de probabilidad al 40%, por su coeficiente de determinación y todos son altamente significativos. Hay que resaltar que la cantidad de precipitación probabilística estimada 40%, es muy semejante a la cantidad de precipitación media mensual, lo que concuerda con García (1977), esto indica que tiene una frecuencia de ocurrencia de dos de cada cinco años en la región en estudio. Los valores de 'a' y 'b' del modelo obtenido para 80% de probabilidad concuerdan con los reportados por Oldeman (1987) para una probabilidad de 75%, en ocho regiones del mundo: los valores de 'a' varían de -14 (Surinam) a -32 (Malasia) y los de 'b' de 0.85 (Región Amazónica, Brasil) a 0.77 (Surinam), para las relaciones en los niveles del 60, 40 y 20% no se han reportado para otros lugares.

Con el primer criterio para la validación de los modelos, el de aplicar el método de regresión lineal, en ambas estaciones, el valor de 'b' es muy cercano a la unidad y al considerar lo que indican Allen *et al.* (1998), que si el valor está entre: $0.7 < b < 1.2$ la estimación de los datos en cada uno de los niveles de probabilidad es buena. El valor de 'a' presenta variaciones que depende de la magnitud de la información que se utilizó, son un poco más grandes en la estación 015 para 60, 40 y 20% es la excepción a 80% (Cuadro 3). El mejor modelo en la estimación de los datos con este criterio corresponde al nivel de probabilidad 80% y le siguieron 60, 40 y 20% (Cuadro 3), en las dos estaciones al considerar los valores de 'a' y 'b', la estimación de los datos con los modelos, fue mejor en la estación 008.

Con el segundo criterio que es el valor de la RCCME (Cuadro 4), se confirmó que en la estación 008 los modelos obtenidos pronosticaron mejor los datos que en la estación 015. Además, se corrobora que el modelo 20% de probabilidad es el que presenta los valores más altos (13.6 y 27.7 mm) en ambas estaciones. Con respecto al orden de prioridad en la estimación de los datos en la estación 008, el modelo 40% es el mejor y le siguen los modelos 60 y 80% que presentan valores muy semejantes. En la estación 015 los mejores son los 60 y 80% que tienen valores muy semejantes y le sigue 40%.

El segundo criterio fue el que se consideró para definir la prioridad de los modelos, ya que con el primero se tiene subjetividad por parte de la persona que está interpretando los valores

de 'a' y de 'b', en este trabajo fue el valor de 'a', ya que los de 'b' en todos los modelos de validación son muy cercanos a uno.

Si se comparan los totales de lluvia por nivel de probabilidad de las estaciones 008 y 015 que se presentan en el Cuadro 1 con los valores del Cuadro 4, en realidad todos los modelos son buenos estimadores, ya que para el valor más grande de la RCCME, representa 1% de la lluvia total.

En todas las estaciones en estudio, el mes más húmedo se presenta en septiembre, en 14 de las 19 estaciones lo que concuerda con lo determinado por García (2003) y en las otras cinco es en octubre, la estación que tiene la máxima cantidad es la 019. El mes más seco es abril en 16 estaciones, en las otras tres es marzo y la estación que tiene la precipitación más baja es la 001.

La variabilidad temporal de la precipitación define dos periodos (Figuras 9 y 10), en el que se tienen los valores más altos de precipitación (junio a enero) es importante definir que cultivos son los que tendrían más posibilidades de prosperar en el estado. En la época donde la precipitación es menor (febrero a mayo) se propone una agricultura extensiva, sin olvidar la vocación natural de la región (agrícola, ganadera o forestal). Al considerar la precipitación total media se define que el clima del estado es húmedo, ya que 18 estaciones tienen valores medios mayores o iguales a 1 500 mm según la clasificación propuesta por Oldeman (1987) y concuerda con lo encontrado por Osías *et al.* (2012).

La máxima cantidad de precipitación (20%) de la estación 001 (Figura 9) es semejante al mínimo (80 %) de la 019 (Figura 10), la diferencia es que para el primer nivel se espera que esta cantidad de precipitación se presente en uno de cada cinco años, en el segundo en cuatro de cada cinco, en base a esto la planeación del recurso hídrico tiene que ser totalmente diferente en cada una de éstas. Lo anterior, auxilia en determinar el comportamiento de la precipitación para definir las áreas donde se tienen las cantidades máximas, así como las mínimas y si ésta es adecuada o no, ya sea por exceso o deficiencias.

A nivel de área, en este caso el estado de Tabasco, se define que en la mayoría de la región la precipitación en exceso es un factor limitativo en la producción agrícola y que sería necesaria la construcción de obras de drenaje para mejorarla. En estas áreas lo importante es definir con que cantidad de precipitación y nivel de probabilidad se hará el diseño de estas, ya que la precipitación presenta gran variabilidad en cantidad total, año con año, dentro de un año y por regiones. Además en las áreas donde la actividad principal es la ganadería extensiva, también presenta sus problemas. Lo anterior, concuerda con lo que indica García- Benavides (1979), que la distribución espacial permite identificar zonas geográficas con determinadas características de humedad en un periodo dado y la distribución en el tiempo ayuda a conocer la variación de la lluvia durante el periodo del cultivo, estos están adaptados en ambas distribuciones.

En la zonificación de cultivos se considera la distribución espacial de la precipitación para los cultivos perennes y anuales y para estos últimos la época de establecimiento del cultivo, está relacionada con la distribución temporal. Phillips *et al.* (1992) consideran que la evaluación de la cantidad de precipitación en el tiempo como en el espacio es requerida en un número de

aplicaciones en la agricultura y manejo de recursos naturales, estos incluyen el manejo del recurso agua en diferentes áreas, modelación hidrológica, modelación forestal, modelación de la humedad del suelo en la producción de cultivos, planeación de obras con diferentes fines (desalajo de excesos, control del nivel freático, etc.) y calendarios de riego.

Un aspecto importante a destacar son las láminas precipitadas medias anuales (1 335 a 3 470 mm), las cuales generan excesos de agua superficial en todo el estado, sus daños varían en escala, ya sea que se trate de una finca, un asentamiento agrario o una gran área agrícola, además depende de la ubicación de las explotaciones en el interior de una cuenca. Estos son indicativos de un drenaje superficial deficiente que influyen de manera desfavorable en el desarrollo y en los costos de los cultivos, en las prácticas agrícolas; dificultan el acceso, la mecanización y la aplicación de insumos. También estos excesos generan condiciones adecuadas en la proliferación de plagas y enfermedades, así como la rápida descomposición de los frutos que están en contacto con el suelo. Por lo tanto, el análisis probabilístico de la ocurrencia de cantidades de precipitación en el tiempo como en el espacio, es esencial en la planeación, diseño y operación de las actividades: agrícola, ganadera o forestal de una región.

Conclusiones

La información gráfica para los doce meses de cada estación (17) se representó por medio de cuatro modelos que son fáciles de usar y con los cuales se generó precipitación probabilística a partir de precipitación media mensual. Los cuatro modelos generados en los niveles de probabilidad de 80, 60 y 40% presentaron buen ajuste. Los resultados de la validación orientan para decidir si se usa o no un modelo, en este caso los cuatro modelos determinados para estimar precipitación probabilística (80, 60, 40 y 20%) con precipitación media en el estado de Tabasco y debido a que la diferencia entre los datos estimados y los medidos fue mínima, indican que los modelos son buenos y se recomiendan ampliamente. En estaciones del estado que tengan datos de precipitación media, con los modelos obtenidos, se genera o se estima, datos de precipitación probabilística confiable. La variación temporal que se presentó en este trabajo no es en un año en particular, ya que la cantidad de precipitación probabilística resume la información de toda la serie de datos de una estación. Los 12 planos de isoyetas medias (uno para cada mes) se transformaron en 48 planos, donde se observa la variación espacial de la cantidad de precipitación de cada nivel de probabilidad, además muestran la variación temporal de ésta.

Literatura citada

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 298 p.
- Bassols, B. A. 1998. Recursos naturales de México. Teoría, conocimiento y uso. 8ª edición. Editorial Nuestro Tiempo. México, DF. 93-128 pp.
- Caí, J.; Liu, Y.; Lei, T. and Santos, P. L. 2007. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. *Agric. Forest Meteorol.* 14:22-35.

- Campos, A. D. F. 2007. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. Universidad Autónoma de San Luís Potosí, SLP, México. 333 p.
- Donatelli, M.; Acutis, M.; Bellocchi, G. and Fila, G. 2004. New indices to quantify patterns of residuals produced by model estimates *Agron. J.* 96:631-645.
- García, B. J. 1979. Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Tesis de Doctor en Ciencias. Especialidad suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
- García, E. 1977. Precipitación y probabilidad de lluvia en la República Mexicana y su evaluación. Climas. Chiapas y Tabasco. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Secretaría de la Presidencia. Instituto de Geografía (IG). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, DF.
- García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas* 50:67-76.
- George, B.; Shende, S. and Raghuwanshi, N. 2000. Development and testing of an irrigation scheduling model. *Agric. Water Manag.* 46:121-136.
- Hargreaves, G. H. 1975. Water requeriments manual for irrigate crops and rainfed agricultura. EMBRAPA and Utha State University. P u b l i c a t i o n No. 7 5 - D 1 5 8. 4 0 p.
- Hargreaves, G. H. 1977. World water for agricultural. Climate, precipitation probabilities and adequacies for rainfed agriculture. Utah State University, Logan, USA. 161 p.
- Kang, S.; Evett, S. R.; Robinson, C. A. and Payne, W. A. 2009. Simulation of winter wheat evapotranspiration in Texas and Henan using three models of differing complexity. *Agric. Water Manag.* 96:167-178
- Lazcano, M. I. 2006. La producción de biocombustibles en México. Bioetanol. La producción situación. Instituto Mexicano de los Biocombustibles AC. http://www.agroetanol-iocombustible.com.mx/art_bioetanol_1.html.
- Loomis R. S. y Connor, D. J. 2002. Ecología de cultivos productividad y manejo en sistemas agrarios. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España. 591 p.
- Lozada, G. B. I. y César, S. P. 2003. Diferencias entre las deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir del balance hídrico climático normal y secuencial de las localidades de Bramon, Venezuela, y Piracicaba, Brasil. *Rev. Bras. Agrometeorol.* 11(1):195-198.
- Oldeman, L. R. 1987. Characterization of main experimental sites and subsites and questions of instrumentation. *In*: Bunting, A. H. (Ed.). *Proceedings of Conference on Agricultural Environments. Characterization, Classification and Mapping.* Rome, Italy. 101-112 pp..
- Phillips, D. L.; Dolph, J. and Marks, D. 1992. A comparison of geostatistical procedures for spatial análisis of precipitation in mountainous terrain. *Agric. Forest Meteorol.* 58:119-141.
- Ruiz, A. O.; Arteaga, R. R.; Vázquez, P. M. A.; Ontiveros, C. R. E. y López, L. R. 2012. Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28(1):1-14.
- Said, I. G. y Zárate, L. G. P. 2000. Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Trillas. 463-531 pp.
- Smith, M. 2000. The application of climate data for planning and management of sustainable rainfed and irrigate crop production. *Agric. For. Meteorol.* 103:99-108.
- Tojo, S. C. M. César, S. P. and Hoogenboom, G. 2007. Application of the CSM-CERES Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *Eur. J. Agron.* 27:165-177.