

EVALUACION DE UN MODELO PREDICTIVO DE LLUVIAS EN COSTA RICA¹

Edgar Zúñiga*

ABSTRACT

Evaluation of a rainfall prediction model for Costa Rican conditions. An incomplete gamma function was used to determine the probability of occurrence of rainfall at the 5, 50, 75 and 95% levels, using precipitation data of San José, Costa Rica, from 1888 to 1972. The results were compared with probability levels estimated from a climatic model (WMAKER). A normal distribution function is assumed for determination of the number of days with rain and a log normal distribution function is used to develop the depth of rain. Probabilities of occurrence of rainfall for 10 and 15 day periods were calculated by a gamma function from 84 years of precipitation records for San Jose. The results of WMAKER model for periods of 10 and 15 days were compared with real weather data and the coefficients of determination of the regression relationships were determined; they were very similar.

INTRODUCCION

Los modelos climáticos para la predicción de lluvias son útiles en la estimación de la producción potencial, para el uso de irrigación suplementaria y en otros aspectos de la producción agrícola. Estos modelos son herramientas poderosas para desarrollar estrategias que permitan incrementar los rendimientos de los cultivos y reducir los riesgos de necesidades de agua en los lugares que dependen de una agricultura de secano (Zúñiga, 1987).

Costa Rica, y en general Centroamérica, tiene la condición típica de clima seco y húmedo y una temperatura adecuada para el crecimiento de las plantas durante todo el año dependiendo de la disponibilidad de agua para las plantas y las condiciones de fertilidad del suelo (Stutler, 1981).

La lluvia durante el año es necesaria para los cultivos y, en la mayoría de los años, su distribución no es adecuada (Hancock y Hargreaves, 1977; Hargreaves, 1977; Instituto de Meteorología Nacional, 1973). La estación húmeda se caracteri-

za por excesiva humedad y pobre aireación en el suelo, mientras que, durante los meses secos o de menor precipitación, la irrigación es necesaria para obtener buena producción agrícola y se debe aprovechar el agua existente en ríos, reservorios y en fuentes subterráneas (James y Stutler, 1982). Es bien conocido que la escasez de agua es un factor que restringe la producción de alimentos en muchas áreas y la sequía causa altas pérdidas que son significativas en el rendimiento de los cultivos (James y Stutler, 1982; Stewart, 1977).

Hargreaves (1976, 1977) usando una función de probabilidad gamma estudió las probabilidades mensuales de lluvia y su distribución para un mes dado, a fin de evaluar la cantidad de agua disponible para las plantas en Centroamérica.

Hardee (1971) desarrolló un modelo de computadora para determinar las probabilidades de lluvia tomando en consideración como datos de entrada únicamente el historial de lluvia. El programa, usando la función gamma mensual de precipitación, calcula la lluvia mensual con diferentes probabilidades de ocurrencia.

Algunos estudios en Centroamérica (Hancock y Hargreaves, 1977; 1978; Hancock *et al.*, 1978) han reportado diferentes probabilidades de precipitación para periodos de 10 y 15 días usando la función gamma.

1/ Recibido para publicación el 11 de diciembre de 1990.
* Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

Los datos de clima diario se requieren para muchos análisis relacionados con cultivos o estrategias de manejo. La mayoría de la información climática está disponible únicamente para valores mensuales promedio (Hargreaves y Samani, 1986). Algunos modelos para computadoras han sido desarrollados para generar secuencias de variables climáticas diarias considerando valores mensuales promedio de registros de más de 10 ó 15 años. Richardson (1985) evaluó un modelo de generación climática (WGEN) usando un modelo de cultivo (CERES-Weat) con variables climáticas medidas en el campo y valores generados con WGEN. Los resultados de los valores del rendimiento del trigo generados por el modelo del cultivo usando datos de clima reales y simulados por el modelo climático no fueron significativamente diferentes.

El presente estudio pretende demostrar que es posible utilizar un modelo de simulación climática para las condiciones de Costa Rica cuando se cuenta con información meteorológica de 10 o más años.

MATERIALES Y METODOS

Keller (1985) desarrolló un modelo de simulación climática que predice, entre otras cosas, la precipitación diaria. Este modelo, denominado WMAKER, que hace uso de datos de clima mensual de un largo historial (10 o más años) puede precedir precipitación diaria. Como este modelo requiere datos climáticos de entrada provenientes de estaciones meteorológicas tipo B resulta posible su aplicación en Costa Rica.

Una función de distribución normal es asumida para la determinación del número de días con lluvia y, la cantidad de lluvia es determinada por una función de distribución log-normal (Keller, 1985).

El procedimiento utilizado para los datos reales fue calcular las probabilidades de lluvia basadas en la función gamma incompleta descrita por Hardee (1971), usando los datos de precipitación de la Estación Meteorológica de San José (Instituto Meteorológico Nacional, 1973) del período comprendido entre 1888 y 1972 inclusive, lo que acumula 84 años de registro.

La probabilidad de ocurrencia de las lluvias fue calculada al 5, 50, 75 y 95%. También fue posible calcular el número de días con lluvia para los mismos valores de probabilidad.

El modelo WMAKER fue evaluado para la lluvia acumulada en períodos de 10 días (primero, segundo y tercer período del mes) y 15 días (primero y segundo período del mes), considerando las probabilidades de lluvia descritas, con 10 años de datos.

Los datos reales y los estimados a través del modelo WMAKER se compararon por medio de coeficientes de determinación.

RESULTADOS

El Cuadro 1 muestra los datos de lluvia mensual para San José con diferentes probabilidades de ocurrencia. El número de días con lluvia por mes están dados en el Cuadro 2 con los mismos valores de probabilidad.

Cuadro 1. Datos promedio de lluvia mensual total en milímetros (mm) con diferentes probabilidades de ocurrencia para la estación San José, Costa Rica. Los valores son determinados de un período de 84 años de registro diario.

Mes	Probabilidad (%)			
	95	75	50	5
Ene	0	0	3	40
Feb	0	0	1	24
Mar	0	0	3	58
Abr	1	8	25	149
May	88	151	209	409
Jun	156	223	280	458
Jul	90	149	204	391
Ago	97	163	225	437
Set	164	244	314	538
Oct	177	256	323	534
Nov	28	73	125	344
Dic	4	15	32	117

El Cuadro 3 presenta los valores promedios de precipitación mensual considerados en el período de 1888 a 1972 para la estación San José.

Los valores de lluvia acumulada en períodos de 15 días para los primeros y segundos 15 días mensuales predichos por el modelo WMAKER, y que fueron determinados para cada mes con datos promedios de lluvia, se presentan en el Cuadro 4. El Cuadro 5 muestra, para los mismos períodos de tiempo mensual, los valores de precipitación al 5, 50, 75 y 95% de probabilidad de ocurrencia basado en 10 años de los 84 años de registro diario antes citados.

Cuadro 2. Número de días lluviosos con diferentes probabilidades de ocurrencia para la estación San José, Costa Rica. Los valores promedios son determinados de un registro de 84 años de datos diarios.

Mes	Probabilidad (%)			
	95	75	50	5
Ene	0	0	1	12
Feb	0	0	0	8
Mar	0	2	5	20
Abr	3	8	15	24
May	12	16	19	29
Jun	17	20	23	31
Jul	15	19	21	28
Ago	15	19	22	30
Set	19	22	24	30
Oct	21	24	26	31
Nov	8	12	16	28
Dic	3	5	8	18

Cuadro 3. Valores promedios de precipitación total en mm para la estación San José, Costa Rica provenientes de un registro de 84 años de datos diarios.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Prom.	9,6	6,1	11,8	44,5	225,5	287,2
D.S.	15,6	11,4	18,5	42,5	88,9	91,1
C.V.	1,62	1,87	1,57	0,95	0,39	0,32
	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Prom.	217,1	249,6	335,0	331,0	143,7	41,7
D.S.	91,9	110,3	111,7	108,4	87,0	34,6
C.V.	0,42	0,44	0,33	0,33	0,61	0,83

Prom. =promedio, D.S. =desviación estándar, C.V. =coeficiente de variación.

El Cuadro 6 muestra el coeficiente de determinación entre los valores predichos por el modelo climático WMAKER y los obtenidos con la distribución gamma (datos reales) con diferentes probabilidades de ocurrencia de lluvia. Los Cuadros 7 y 8 muestran los valores acumulados para períodos de 10 y 15 días mensuales para datos medidos en el campo y predichos por el modelo. Los resultados en términos del coeficiente de determinación se presentan en el Cuadro 9.

DISCUSION

Los valores de lluvia total mensual estimados con probabilidades de ocurrencia del 5, 50, 75 y 95% para la estación San José están en acuerdo con los determinados por Hancock y Hargreaves (1977) para Costa Rica y son similares a los deter-

Cuadro 4. Valores de precipitación en mm/mes predichos por el modelo WMAKER para un período de 10 años. Los datos de lluvia acumulada en promedio son suministrados para los primeros y segundos 15 días del mes considerando diferentes probabilidades de ocurrencia para San José, Costa Rica.

Mes	Probabilidad (%)			
	5	50	75	95
Primeros 15 días del mes				
Ene	39,62	3,05	0,00	0,00
Feb	12,19	0,00	0,00	0,00
Mar	46,74	3,09	0,00	0,00
Abr	44,20	0,00	0,00	0,00
May	199,14	87,38	56,32	29,46
Jun	220,98	97,54	89,41	45,72
Jul	209,55	144,78	118,11	79,25
Ago	202,69	71,12	43,18	31,75
Set	270,51	194,31	167,64	112,27
Oct	259,08	161,80	128,02	83,82
Nov	182,88	102,36	60,96	27,94
Dic	26,42	0,00	0,00	0,00
Segundos 15 días del mes				
Ene	0,00	0,00	0,00	0,00
Feb	11,68	0,00	0,00	0,00
Mar	11,18	0,00	0,00	0,00
Abr	104,90	24,89	7,87	0,00
May	209,80	121,67	94,99	58,42
Jun	236,98	182,37	133,60	110,24
Jul	181,36	59,18	30,99	10,67
Ago	234,19	153,92	119,89	65,28
Set	267,46	119,63	76,45	51,82
Oct	274,83	161,29	128,02	93,22
Nov	161,04	22,61	11,94	0,00
Dic	90,68	32,00	14,99	4,06

minados por Hancock *et al.* (1978) para El Salvador. De esta información resulta evidente que en zonas con condiciones climáticas similares a las del presente estudio y donde no se practica la irrigación, la estación lluviosa empieza en mayo y finaliza en noviembre para la zona estudiada. Es costumbre en Costa Rica y Centroamérica iniciar las actividades agrícolas, alrededor del 15 de mayo y cosechar, en la mayoría de los casos alrededor del 15 de noviembre. El análisis de lluvia anterior verifica con base en datos de largos períodos de registro la razón de tal tradición.

La distribución de la lluvia simulada por el modelo y los valores reales de precipitación fueron muy similares para los períodos de 15 días al 75% de probabilidad de ocurrencia. Hargreaves (1976) considera el 75% de probabilidad como un valor satisfactorio para aproximar los requerimientos de agua en agricultura de secano, con base en la evapotranspiración potencial.

Cuadro 5. Valores de precipitación en mm/mes cuyas probabilidades de ocurrencia de lluvia fueron desarrolladas mediante una función gamma considerando información registrada en el campo. El resultado son datos de lluvia mensual acumulada en períodos de quince días como promedio de 10 años para las condiciones de San José, Costa Rica.

Mes	Probabilidad (%)			
	5	50	75	95
Primeros 15 días del mes				
Ene	21,08	0,00	0,00	0,00
Feb	10,92	0,00	0,00	0,00
Mar	19,05	0,00	0,00	0,00
Abr	59,94	3,05	0,00	0,00
May	184,91	49,02	23,11	5,08
Jun	256,03	150,11	117,09	78,99
Jul	232,92	99,06	64,01	30,99
Ago	254,00	83,06	44,96	14,99
Set	276,10	136,91	97,03	55,12
Oct	304,04	166,88	125,98	80,01
Nov	239,01	74,93	39,12	11,94
Dic	83,06	14,99	5,08	0,00

Segundos 15 días del mes				
Ene	24,89	0,00	0,00	0,00
Feb	13,97	0,00	0,00	0,00
Mar	43,94	0,00	0,00	0,00
Abr	118,11	12,95	3,05	0,00
May	294,89	146,05	103,12	57,91
Jun	246,89	123,95	88,90	51,05
Jul	264,92	86,11	45,97	14,99
Ago	322,07	119,13	70,10	27,94
Set	311,02	169,93	124,97	75,95
Oct	298,96	147,07	103,89	57,91
Nov	166,12	35,05	13,97	2,03
Dic	71,88	6,10	0,00	0,00

Cuadro 6. Coeficiente de determinación para los primeros y segundos quince días del mes entre valores simulados por el modelo WMAKER y medidos, considerando diferentes probabilidades de ocurrencia de lluvia durante 10 años para San José, Costa Rica.

Primeros 15 días del mes	Probabilidad (%)	
		r ²
	5	0,95
	50	0,82
	75	0,79
	95	0,62
Segundos 15 días del mes		
	5	0,93
	50	0,83
	75	0,77
	95	0,70

Los valores de correlación para el período de 10 días fueron muy bajos. Sin embargo, para el

Cuadro 7. Valores promedio de lluvia en mm/mes con datos reales y predichos por el modelo WMAKER en períodos de 10 días, primero, segundo y tercero períodos, durante 10 años para San José, Costa Rica.

Mes	Valores reales			Valores simulados		
	Primero 10	Segundo 10	Tercero 10	Primero 10	Segundo 10	Tercero 10
Ene	6,7	2,8	2,8	12,6	0,0	0,0
Feb	1,0	2,9	8,7	0,0	0,0	11,2
Mar	5,4	1,9	6,8	14,1	0,0	0,0
Abr	24,4	11,9	56,2	5,3	1,6	46,9
May	36,5	47,6	96,9	34,8	86,6	67,4
Jun	118,1	91,5	97,4	74,2	121,9	121,9
Jul	73,0	72,0	83,3	100,1	98,2	36,8
Ago	83,9	86,7	119,1	100,0	43,9	136,6
Set	130,3	131,7	140,5	147,8	147,8	98,4
Oct	81,1	133,7	95,7	132,5	57,1	134,7
Nov	68,7	35,8	58,6	74,1	74,1	10,4
Dic	13,5	19,2	12,6	6,9	1,2	43,7

Cuadro 8. Valores de lluvia promedio acumulada en mm/mes con datos medidos y predichos por el modelo WMAKER para el primero y segundo períodos de 15 días mensuales durante 10 años para San José, Costa Rica.

Mes	Valores medios		Valores simulados	
	Primero 15	Segundo 15	Primero 15	Segundo 15
Ene	8,5	4,1	6,1	6,6
Feb	1,8	9,7	0,2	11,3
Mar	7,2	7,8	12,3	2,7
Abr	27,9	25,9	1,9	52,0
May	60,4	128,9	73,4	116,0
Jun	181,2	134,5	132,8	183,1
Jul	107,8	185,9	150,1	71,6
Ago	128,3	152,7	110,0	161,4
Set	186,7	207,0	221,8	171,9
Oct	158,7	155,4	157,6	156,5
Nov	86,0	72,6	169,9	48,7
Dic	22,2	24,4	3,5	43,0

período de 15 días durante la época húmeda los valores del coeficiente fueron elevados lo cual demuestra la gran similitud entre los valores predichos por el modelo y los reales. Este resultado era esperado por la buena correlación encontrada con el 75% de probabilidad de ocurrencia de la lluvia para los períodos de 15 días.

De esta manera queda demostrado que es posible realizar una disgregación de la lluvia mensual en diaria utilizando el modelo WMAKER. Es bien conocido que muchos modelos de cultivos, como PLANTGRO (Hanks, 1974) utilizan información climática diaria. Es muy frecuente contar con información climática mensual, sin embargo

Cuadro 9. Coeficiente de determinación entre valores de lluvia diaria real y generada por el modelo WMAKER, desde 1961 a 1970 acumulada en períodos de 10 y 15 días mensuales para San José, Costa Rica.

Mes	Valores de r^2				
	Mes en períodos de 10 días			Mes en períodos de 15 días	
	Primero 10	Segundo 10	Tercero 10	Primero 15	Segundo 15
Abr	0,78	0,55	0,02	0,04	0,03
May	0,74	0,43	0,12	0,86	0,91
Jun	0,40	0,07	0,72	0,79	0,65
Jul	0,30	0,69	0,21	0,68	0,78
Ago	0,25	0,20	0,40	0,83	0,69
Set	0,49	0,40	0,03	0,73	0,64
Oct	0,09	0,01	0,03	0,63	0,68
Nov	0,02	0,02	0,64	0,14	0,67

es difícil contar con los datos diarios. Por lo tanto, resulta muy valioso contar con un modelo como WMAKER que permita simular la información diaria con bastante precisión. Richardson (1985) evaluó un modelo climático (WGEN) usando un modelo el cultivo CERES Weat. Los resultados del rendimiento anual del trigo usando datos climáticos reales y los generados por el modelo no fueron significativamente diferentes. Otro aspecto interesante del modelo WMAKER es la simulación de la temperatura máxima y mínima diaria, la radiación solar y la evapotranspiración diarias. La predicción de estas variables complementan la gran utilidad que puede brindar este modelo en los países de agricultura de secano o bien, para estimar los efectos de irrigación suplementaria.

RESUMEN

Una función gamma incompleta fue utilizada para determinar la probabilidad de ocurrencia de las lluvias a los niveles de 5, 50, 75 y 95% usando datos de precipitación de San José, Costa Rica desde 1888 hasta 1972. Los resultados fueron comparados con los mismos niveles de probabilidad desarrollados por el modelo climático WMAKER.

También se evaluó la lluvia mensual para períodos de 10 y 15 días usando los valores generados por el modelo y el largo período de registro antes citado.

Para un 75% de probabilidad de ocurrencia, la distribución de la lluvia simulada por el modelo y los valores reales de precipitación fueron muy similares para los períodos de 15 días.

LITERATURA CITADA

- HANCOCK, J.R.; HARGREAVES, H.G. 1978. Monthly precipitation probabilities, climate and agricultural potential for Nicaragua. International Irrigation Center. Agricultural and Irrigation Engineering Dept., Utah State University. 103 p.
- HANCOCK, J.R.; Hill, W.R.; HARGREAVES, H.G. 1978. Precipitation probabilities, climate and agricultural potential for El Salvador. International irrigation center. Agricultural and Irrigation Engineering Dept., Utah State University. 97 p.
- HANCOCK, J.R.; HARGREAVES, H.G. 1977. Precipitación, clima y potencial para producción agrícola en Costa Rica. International Irrigation Center. Agricultural and Irrigation Engineering dept., Utah State University. 136 p.
- HANKS, R.J. 1974. Model for predicting plant grow as influenced by evapotranspiration and soil water. Agron. Jour. 66: 660-665.
- HARDEE, J.E. 1971. Analysis of Colombian precipitation to estimate irrigation requirements. M.Sc. thesis. Utah State University Library. Logan, Utah. 67p.
- HARGREAVES, H.C. 1976. Water requirements manual for irrigated crops and rainfed agriculture. Utah State University Library CID 75-D, No 158. Logan, Utah. 40 p.
- HARGREAVES, H.G. 1977. Precipitation adequacies for short time periods for Central America. Utah State Library. CID 77-A No.170. 11 p.
- HARGREAVES, H.G.; SAMANI, S.A. 1986. World water for agriculture precipitation management. International Irrigation Center Engineering. Utah State University, Logan, Utah. 125 p.
- INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Las series pluviométricas de Costa Rica. I. San José: valores diarios de 1988 a 1972. Estadísticas. San José, Costa Rica. 40 p.
- JAMES, D.W.; STULER, R.K. 1982. On farm water management research and demonstration in a tropical wet/dry climate. El Salvador, Central América. Research Bulletin. No 1. International Irrigation Center. Utah State University. 64 p.
- KELLER, A.A. 1985. Weather simulation model. International irrigation center, Department of Agriculture and Irrigation Engineering, Utah State University. Logan, Utah. 10 p.
- RICHARDSON, C.W. 1985. Weather simulation for crop management models. Soil and water division of ASAE, ASAE paper No. 84 4541. 13 p.
- STEWART, J.I. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. PRWG 15-1. Utah State University Library. Logan, Utah. 31 p.

- STUTLER, R.K.; JAMES, D.W.; FULLERTON, T.M.; WELLS, R.F.; SHIPE, E.R. 1981. Corn yield functions of irrigation and nitrogen in Central America. *Irrigation Science* 2:42-53.
- ZUÑIGA, E.M. 1987. Crop model evaluation of precipitation, planting date, and nitrogen application effects on corn yields in Central America. Agricultural and Irrigation Engineering Department. Utah State University, Ph.D. dissertation. 185 p.