

VALIDACIÓN DE UN PRONÓSTICO DE LLUVIA MENSUAL EN MÉXICO

Validation of a forecasting method for monthly rainfall in Mexico

MA González-González ✉, JL Ramos-González, AD Báez-González

(MAGG)(JLRG)(ADB) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Campo Experimental Pabellón. Km 32.5, Carr. Ags-Zac Pabellón de Arteaga 20600. Aguascalientes, México. gonzalez.miguelangel@inifap.gob.mx

Nota científica recibida: 29 de abril de 2008, aceptada: 5 de agosto de 2009

RESUMEN. La evaluación categórica del modelo estocástico de pronóstico de lluvia en 31 localidades en México, basado en las fases de ENSO, mostró una proporción de aciertos mensuales de 0.63 durante el año de estudio. Sin embargo, la puntuación de Hanssen-Kuipers para evaluar un modelo de pronóstico mostró una puntuación de 0.499 para el mismo periodo. Se consideró un modelo parcialmente aceptable ya que es necesaria la validación de un número mayor de pronósticos para tener una puntuación más precisa.

Palabras clave: Validación, pronóstico de lluvia mensual, aciertos, puntuación de Hanssen-Kuipers.

ABSTRACT. The categorical evaluation of the stochastic model for rainfall forecasting, at 31 locations in Mexico, based on the ENSO phases, showed a rate of monthly hits of 0.63 during the year of the study. However, the Hanssen-Kuipers score that evaluates forecast models indicated a score of 0.499 for the year. It was considered a partly acceptable model as the validation of a larger number of forecasts is required to obtain a more accurate scoring.

Key words: Validation, monthly rainfall forecast, hits, Hanssen-Kuipers score.

INTRODUCCIÓN

México se localiza dentro de los paralelos 14° a 32° Norte y meridianos 86° a 118° Oeste, dividido en su parte media por el Trópico de Cáncer. Por su posición geográfica, da lugar a que su territorio resulte afectado por cuatro sistemas de circulación atmosférica principales: frente intertropical, monzones, ciclones tropicales y frente polar. Estos sistemas determinan los regímenes de lluvia que lo caracterizan: de verano y otoño en la mayor parte del territorio, y de invierno en el noroeste del país (Maderey-Rascón LE, Cruz-Navarro F, Godínez-Calderón L 2000. *Agrociencia* 35(1): 23-40). Controlado en parte por la compleja topografía y la proximidad de las dos fuentes de humedad del Este del Océano Pacífico y el Golfo de México, hace que la climatología de la lluvia muestre una remarcable variación espacial (Englehart PJ, Douglas AV 2002. *Atmósfera* 15(3): 147-164), por lo que la predicción de lluvias y su validación son una tarea compleja para un lugar, zona o región de importancia agrícola, industrial o social en el país.

No obstante, el estudio de las anomalías de

temperatura del mar, por ejemplo las diferentes fases de "El Niño Oscilación Sur" (ENOS), con la precipitación pueden ser analizados para producir analogías y ser usados como pronósticos a largo plazo, principalmente durante los años El Niño ya que su señal es muy clara en el clima de México (Magaña V, Velázquez L, Pérez JL, Pérez B 2003. *Geofísica Internacional* 42(3): 313-330). Así mismo, el uso de generadores estocásticos que relaciona las fases de ENOS capturan las diferencias de incremento o decremento del proceso de precipitación, que acorde a Grondona MO, Podestá GP, Bidegaín M, Marino M, Hordij H (2000. *Journal of Climate* 13(16): 2973-2986) son eficaces estos modelos en predecir la persistencia de días húmedos entre las fases de ENOS.

Institutos Internacionales de investigación como el IRI (International Research Institute 2007. <http://portal.iri.columbia.edu/portal/server.pt?open=512&objID=944&PageID=0&cached=true&mode=2&userID=2>), la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration 2007. <http://www.cdc.noaa.gov/seasonalfcsts/>) y la ECMWF (The Eu-

ropean Centre for Medium-Range Weather Forecasts 2007. http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/~charts/seasonal/forecast/seasonal_range_forecast) realizan pronósticos probabilísticos a largo plazo de la cantidad de lluvia mensual con un mes o meses de anticipación para diferentes regiones del mundo y las Dependencias Gubernamentales en México como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA-Servicio Meteorológico Nacional 2007. <http://smn.cna.gob.mx/>) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP 2007. <http://148.235.104.228/redclima/bo1nac/default.aspx?modo=0>) generan y publican pronósticos determinísticos a largo plazo con un mes de anticipación de la cantidad de lluvia mensual para la República Mexicana, siendo este último con base en un modelo estocástico condicionado por las diferentes fases de ENOS.

Al surgir estos pronósticos es necesaria una técnica de validación para conocer su certeza, por lo que para este estudio se evaluó en principio el generador estocástico condicionado por las fases Neutral y El Niño de ENOS que utilizó el INIFAP durante un año de prueba en 31 localidades seleccionadas en el país con el Índice Estandarizado de Precipitación, el cual va más allá de examinar sequías: Giddings L y Soto M (2005. *Atmósfera* 18(1): 33-56) mencionan que su aplicación se ha empleado en examinar numerosas preguntas como sequías, teleconexiones con los sistemas de circulación, inundaciones y estimación de cosechas al determinar la ocurrencia de eventos húmedos y secos en diferentes escalas de tiempo (Rouault M, Richard Y 2005. *Geophysical Research Letter* 32, L15702, doi:10.1029/2005GL022436, 4 pp.). De esta manera se logra saber cualitativamente qué tan húmedo o qué tan seco fue un periodo pronosticado y observado en un sitio y al aplicar la discriminante de Hanssen-Kuipers se pretende elaborar cada año una validación temporal para este modelo estocástico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pronóstico

Se obtuvieron las 12 capas de pronóstico a ni-

vel nacional que generó el INIFAP con la versión del modelo EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) desarrollado por Williams JR, Jones CA, Dyke PT (1984. *ICRISAT-IBSNAT-SYSS Symp. on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer*, Hyderabad, India, 111-121), adecuado por Tiscareño-López M, Izaurralde C, Rosenberg NJ, Baez-González AD, Salinas-García J (2003. *Geofísica Internacional* 42(3): 331-339), de manera que fueran manejadas en un sistema de información geográfica. La información de cada capa contenía la cantidad de lluvia mensual pronosticada en milímetros de los meses de mayo de 2006 a abril de 2007.

Puntos de Validación

Por medio de un sistema de información geográfica ArcGis (ArcMap (1997-2006) ESRI Inc. V.9.2) se ubicó la Red de estaciones agroclimatológicas automatizadas del INIFAP (<http://www.clima.inifap.gob.mx>) junto con la Red de estaciones climáticas de la CONAGUA (Díaz-Padilla G 2006. Base de datos climáticos de la CONAGUA validados estadísticamente 1961-2003. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla-Veracruz, México) para seleccionar localidades que cumplieran la condición de tener una estación de la CONAGUA con datos históricos y una del INIFAP con datos recientes a una distancia de menos de 30 km entre una y otra y ubicarse en la misma zona climática indicada por la capa de las zonas climáticas según Köppen Modificado por García (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática 2007. Capa de los climas de la República Mexicana modificado por García. Aguascalientes, México) (Figura 1). Así se eligieron 31 localidades en donde los puntos de validación eran las estaciones del INIFAP que contenían datos diarios de lluvia de mayo de 2006 a abril de 2007, los cuales fueron revisados para que no tuvieran datos faltantes o dudosos. Posteriormente con las estaciones del INIFAP sobre cada una de las capas de pronóstico se obtuvo el valor puntual pronosticado de la lluvia mensual para cada localidad con la herramienta Spatial Analyst-Zonal Statistics.

Localidad	Código Estación CONAGUA			Coordenadas		Altitud	Código Estación INIFAP			Coordenadas		Altitud
				X	Y					X	Y	
1		1024		-102.104	21.778	1956		13466		-102.128	21.781	2050
2		1014		-102.293	22.167	1909		13471		-102.274	22.218	1950
3		1005		-102.372	21.779	1828		13472		-102.315	21.755	1868
4		1028		-102.068	22.101	1970		13475		-102.100	22.090	1950
5		1030		-102.308	21.895	1865		18678		-102.319	21.916	1866
6		1012		-102.802	21.794	1585		18818		-102.770	21.804	1627
7		1018		-102.415	22.141	2020		24478		-102.416	22.142	2038
8		8092		-105.417	28.533	1093		12102		-105.586	28.489	1171
9		10009		-103.517	25.533	1135		26812		-103.244	25.533	1096
10		6009		-103.600	19.325	950		35038		-103.623	19.322	901
11		11052		-101.117	20.533	1722		26464		-101.067	20.579	1726
12		11054		-101.367	20.517	1714		26470		-101.435	20.521	1700
13		11079		-101.183	20.400	1748		26838		-101.122	20.398	1691
14		11028		-101.350	20.683	1724		26854		-101.328	20.744	1757
15		11084		-100.817	20.517	1752		26895		-100.804	20.531	1713
16		11035		-101.700	20.917	1753		27823		-101.651	21.011	1777
17		14103		-101.583	21.867	2210		26677		-101.664	21.725	2376
18		14072		-103.250	20.417	1550		26364		-103.211	20.425	1531
19		14039		-103.050	20.950	1799		26762		-103.040	20.937	1778
20		17026		-99.183	18.650	910		35284		-99.201	18.653	911
21		19007		-99.750	24.983	478		35888		-99.709	24.891	446
22		21082		-97.717	18.883	2050		26870		-97.722	18.857	2023
23		26034		-109.633	26.917	13		27797		-109.612	26.825	17
24		29026		-97.908	19.200	2562		26358		-97.903	19.247	2540
25		29007		-97.647	19.318	2340		26361		-97.644	19.318	2351
26		32025		-102.983	21.750	1495		15922		-103.049	21.612	1466
27		32030		-103.617	22.683	1870		1870		-103.571	22.782	1933
28		32009		-103.000	22.633	2027		18682		-102.953	22.697	2036
29		32019		-103.350	21.633	1740		18879		-103.330	21.639	1765
30		32043		-101.567	22.300	2408		18679		-101.618	22.279	2369
31		32001		-102.167	23.783	1992		18779		-102.160	23.782	1913

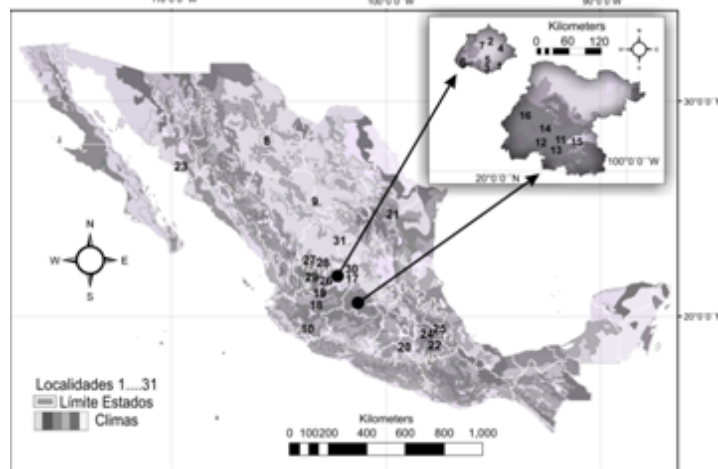


Figura 1. Capa de los diferentes climas en la República Mexicana con la ubicación geográfica de las localidades para validar el pronóstico mensual de lluvia.

Figure 1. Shape of the different climates in Mexico and geographical location of the localities to validate the monthly rainfall forecast.

Análisis de datos

Primeramente se clasificó la lluvia pronosticada y observada mediante el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP). Para el cálculo del IEP se tuvieron al menos 30 años de datos diarios como mínimo recomendados (Nuñez-López D, Muñoz-Robles CA, Reyes-Gómez VM, Velasco-Velasco I, Gasden-Esparza H 2007. *Agrociencia Colegio de Postgraduados* 41(3): 253-262) para ajustar los valores de precipitación a una distribución normal y ser expresados como desviaciones estándar. Se utilizó la categoría de IEP propuesta por McKee TB, Doesken J, Kleist J (1993. Preprints, eight Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA., USA, Amer. Meteor. Soc., 179-184) que consideraban a la lluvia dentro de lo normal de 0.99 a -0.99, arriba de lo normal cuando eran mayores a 0.99 y por debajo de lo normal cuando eran menores a -0.99. El IEP fue calculado en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel para las matriz de datos mensuales de lluvia en milímetros de 1961 a 2003 de las 31 estaciones de la CNA y con base a esta matriz se obtuvo el IEP para las matriz de datos mensuales de lluvia pronosticados y observados en milímetros de las 31 estaciones del INIFAP de mayo de 2006 a abril de 2007. A través de la clasificación pronosticada y observada se realizó una simple validación mensual de empate y no empate de categorías en todas las localidades y una proporción de aciertos para los periodos: anual, fase Neutral, El Niño, la época de lluvia (junio a octubre) y la época seca (noviembre a mayo).

Enseguida, se utilizó la tabla de contingencia binaria de lo pronosticado y observado de todos los eventos posibles de las tres clasificaciones para aplicar la discriminante de Hanssen-Kuipers: $KS + \frac{1}{2}$, $KS = HR - FAR$, donde KS es la puntuación de Hanssen-Kuipers o llamado también "True Skill Statistics" que va de 0 a 1, 1 es igual a un pronóstico perfecto y 0 el caso contrario, HR es la proporción de casos exitosos y FAR es la proporción de falsas alarmas. Finalmente se elaboró una puntuación para el año de estudio y para cada uno de los periodos de interés con el promedio de las puntuaciones obtenidas de todos los eventos binarios posibles.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Figura 2 se muestran los resultados del comportamiento de los valores de IEP observados y pronosticados en cada mes con una simple comparación de acierto y no acierto para las 31 localidades durante mayo de 2006 a abril de 2007.

Durante todos los meses, en la mayoría de las localidades el pronóstico esperaba valores de IEP entre -0.99 y 0.99, es decir, lluvias cercanas a lo normal o a su promedio histórico. En el mes de mayo el registro de la lluvia acontecida mostró que en general fue un mes de lluvia por arriba del promedio histórico (IEP > 0.99), como lo observado en el Monitor de Sequía de América del Norte (<http://smn.cna.gob.mx/productos/sequia/2006/mayo/sequiamay06.html>), el cual ubicó a mayo 2006 como el decimoséptimo mayo más húmedo desde 1941. En los meses de junio, julio, diciembre, febrero y abril se registraron lluvias de lo cercano a lo normal a por debajo de él (IEP < 0.99), en los meses de agosto a noviembre se reportaron lluvias de lo cercano a lo normal a por arriba de éste (IEP > -0.99), el mes enero las lluvias acontecidas y pronosticadas fueron cercanas a lo normal y el mes de marzo fue el mes donde se registraron lluvias por debajo de lo normal (IEP < -0.99).

Durante el año de estudio se registró una proporción de aciertos de 0.63. El análisis mensual mostró aciertos en menos de la mitad (< 0.50) de las localidades durante los meses de mayo, octubre, noviembre y marzo, correspondiente a dos de ellos presentados en la fase Neutral y a uno de ellos en la fase El Niño, mientras que el resto de los meses se presentó un número de aciertos en más de la mitad de las localidades (> 0.50), cabe destacar que aciertos en más de tres cuartas partes de las localidades (> 0.75) fueron en los meses de septiembre, diciembre y enero correspondientes a la fase El Niño, quizás debido a que bajo las condiciones de el Niño los pronósticos muestran una mejor habilidad por la fuerte interacción de la atmósfera y el océano que resulta en importantes modificaciones en la circulación a

Tabla 1. Valores KS promedio de todas las localidades de los eventos posibles correspondientes a los periodos: anual, Neutral, El Niño, época de lluvia y época seca.

Table 1. Average KS scores for all localities and all possible events corresponding to the periods: annual, Neutral phase, El Niño phase, rainy season and dry season.

Categoría		Periodos				
Pronóstico	Observado	Anual	Neutral	El Niño	Época Lluvia	Época Seca
N	N	0.517	0.526	0.502	0.500	0.526
N	AN	0.503	0.513	0.492	0.491	0.513
N	BN	0.475	0.463	0.511	0.511	0.456
AN	N	0.501	0.500	0.498	0.500	0.500
AN	AN	0.505	0.500	0.508	0.509	0.500
AN	BN	0.483	0.474	0.500	0.500	0.474
BN	N	0.502	0.474	0.500	0.500	0.474
BN	AN	0.492	0.487	0.500	0.500	0.487
BN	BN	0.530	0.537	0.500	0.500	0.544
	\bar{x}	0.499	0.497	0.501	0.501	0.497

N=normal

AN=arriba normal

BN=Abajo normal

escalas globales afectando las condiciones locales y regionales (Gay-García C, Hernández-Vázquez M, Jiménez-López J, Lezama-Gutiérrez J, Magaña-Rueda VO, Morales-Alcotzi T, Orozco-Flores S 2004. *Atmósfera* 17(3): 127-150). Entretanto, en la época de lluvias se observa una proporción de aciertos arriba de 0.50 en los meses de junio a septiembre y para la época seca en los meses de diciembre, enero, febrero y abril (Figura 2).

La puntuación de Hanssen-Kuipers, que acorde a Woodcock (Woodcock F 1976. *Monthly Weather Review* 104(10): 1209-1214) y la WMO (World Meteorological Organization 2002. Standardized verification system (SVS) for long-range forecasts (LRF), New Attachment II-9 to the Manual on the GDPS, WMO 1(485): 24) es el mejor estimado para la precisión de un pronóstico a largo plazo, mostró en el año de estudio para las 31 localidades una puntuación de 0.499, en tanto que durante la fase Neutral, El Niño, la época de lluvia y la época seca se identificaron puntuaciones muy semejantes de 0.497, 0.501, 0.501 y 0.497 respectivamente; demostrando que el modelo se comporta de manera constante en ambas fases de ENOS, en la época de lluvia y en la época seca a pesar de que la precipitación en temporada de lluvia es convectiva por naturaleza al reflejar una mayor variación en la precipitación y por consiguiente una menor probabilidad de que hayan empates o aciertos (Hui TW, Shum

KY 2005. Palisades, New York, USA, 11-15 July 2005. Hong Kong Observatory Reprint No. 602).

La aceptación de este pronóstico está dada por una puntuación de referencia mayor a 0.50 (Yeung K 2007. Busan, Korea September 18-20, 2007: Implementation of Global-regional Climate Model for Seasonal Forecasting APCC Member Working Group Report Hong Kong), por lo que se considera el pronóstico mensual parcialmente aceptable ya que será necesario validar con esta puntuación un mayor número de años de manera continua y aleatoria hasta que las puntuaciones sean equiparables o similares (Gandin L S, Murphy A 1992. *Weather. Rev.*, 120: 361-370). Asimismo, será necesario validar el pronóstico de la fase La Niña la cual será hasta que se presente dicho fenómeno.

Como conclusión, los resultados de este estudio son preliminares con la idea de tener más a fondo la validación de los pronósticos determinísticos a largo plazo ya que no hay ninguna medida de verificación que proporcione una información completa de la calidad del sistema de predicción, sino que cada índice de verificación describe algún atributo particular de la relación entre observaciones y predicciones (Gutiérrez JM, Cano R, Cofiño AS, Sordo CM 2004. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, España. ISBN: 84-8320-281-6. Pág. 244), no obstante la discriminante de Hanssen-Kuipers tiene la ventaja de ser independiente de la distribución de

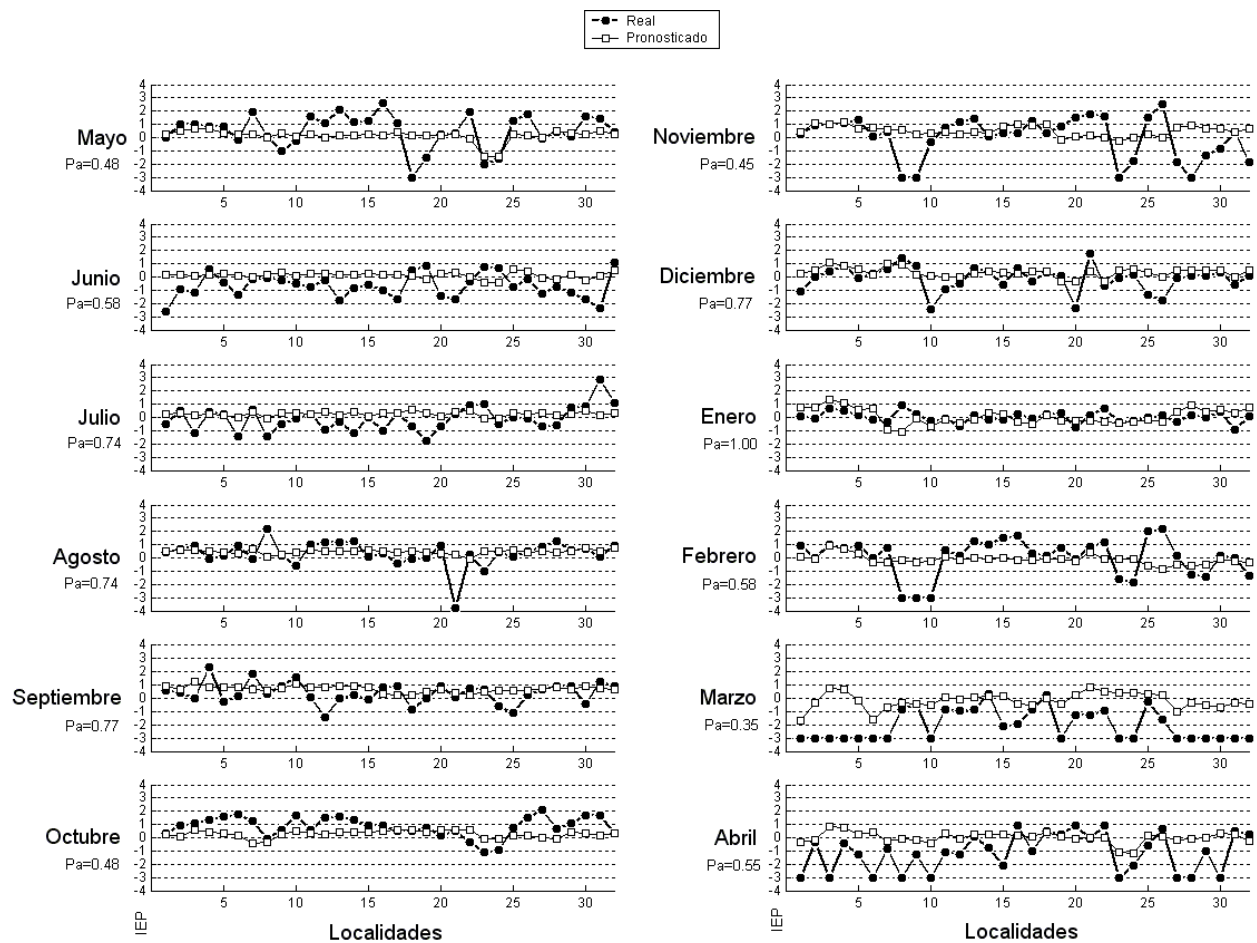


Figura 2. Valores mensuales acontecidos y pronosticados del IEP de cada una de las localidades correspondientes a los meses de mayo 2006 a abril de 2007 y su proporción de aciertos (P_a).

Figure 2. Monthly real and predicted SPI values for each locality, for May 2006 to April 2007, and their hit ratio (P_a).

los eventos en la muestra; es decir no depende de si hay muchos o pocos eventos, siendo un índice equilibrado para un promedio global (Doswell CA, Davies-Jones R, and Keller D L 1990. *Weather and Forecasting* 5: 576-585).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el apoyo al personal del Labora-

torio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos del INIFAP en Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México por la facilitación de las capas de pronóstico del modelo estocástico, la base de datos de la Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas Automatizadas y la base de datos validada de la Red de la CNA, los cuales se derivaron del proyecto: "Predicción de Cosechas y Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas Automatizadas".