

Análisis comparativo de los métodos para interpolar precipitación en el estado de Chiapas

Miguel de Jesús León Gómez¹, Roel Símuta Champo¹
Iván de Jesús Vázquez Montoya¹, Ramón Solano Barajas²

¹ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente 1150, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; miguel.leon.gomez@hotmail.com, roel.simuta@unicach.mx, ivan.vazquez@unicach.mx | ²Universidad de Colima, Carretera Colima Coquimatlán km 9, Coquimatlán, Colima; rsolano@ucol.mx

RESUMEN

Se evalúan y comparan tres métodos de interpolación de precipitación que son el Inverso de la Distancia Ponderada, el Kriging Ordinario y el Co-Kriging Ordinario, con el objetivo de proponer un adecuado método para realizar un continuo de precipitaciones en el estado de Chiapas, partiendo de los valores mensuales obtenidos en 175 estaciones meteorológicas distribuidas en el estado durante el año 2014. Con la ayuda del software ArcGis 9.3, específicamente con el módulo Análisis Geoestadístico y la extensión Asistente Geoestadístico, se evaluó el método Inverso de la Distancia Ponderada y se realizó el cálculo de los valores óptimos de potencia y el método estadístico de validación cruzada, lo que permitió identificar a exactitud que el modelo predice los valores desconocidos. Para el Kriging Ordinario se estimaron los datos de transformación y tendencia como ayuda de la aplicación Explorador de datos/ Histograma; se identificó el tipo de transformación que los datos requieren a partir de la distribución. Por otra parte con la aplicación Explorador/ Análisis de tendencia se identificó la tendencia que sigue la distribución de los datos. Para el método Co-Kriging Ordinario se emplearon los mismos datos que para el Kriging Ordinario además de emplear la elevación como variable secundaria. El estudio concluye que el interpolador que mayor bondad estadística expone es el Inverso de la Distancia Ponderada.

Palabras clave: interpolación, precipitación, ArcGis, geoestadística, estaciones meteorológicas.

ABSTRACT

This paper evaluated and compared three methods of interpolation of precipitation that are the Inverse Distance Weighting, the Kriging ordinary and Co-Kriging Ordinary, with the aim of proposing a suitable method for continuous rainfall in the state of Chiapas, based on the monthly values obtained from 175 weather stations in the state during 2014. With the help of ArcGIS 9.3 software, specifically with geostatistical analysis module and the Wizard Geostatistical extension, the Inverse Distance Weighted method was evaluated and calculating the optimum values of power and the statistical method of cross-validation was conducted, which identified how well the model predicts the unknown values. For the Kriging Ordinary data processing and tendency to help the Explorer application data / Histogram estimated; the type of processing that require data from the distribution was identified. Moreover with Explorer / Trend Analysis application trend following the distribution of the data was identified. For the Co- Kriging Ordinary method the same data that were used in the Kriging Ordinary and elevation as a secondary variable. The study concludes that the interpolator is greater statistical goodness exposes the Inverse Distance weighted.

Keywords: Interpolation, Precipitation, ArcGis, Geostatistics, Weather stations.

INTRODUCCIÓN

Los métodos de interpolación climática disponibles en los SIG (Sistemas de Información Geográfica), en principio han sido creados para predecir la distribución espacial de diversos fenómenos o elementos naturales. Estos métodos de interpolación se pueden dividir en dos grupos específicos: los locales que pueden ser polígonos de Thiessen e inverso de distancia ponderada (IDP) mé-

todos que han sido de los más frecuentemente utilizados en la predicción climática y desarrollo cartográfico (New & Hulme, 2000; Vicente-Serrano *et al.*, 2003), y por otra parte se encuentran los geo-estadísticos que pueden ser Kriging, co-Kriging y Spline (Vicente-Serrano *et al.*, 2003; Apaydin *et al.*, 2004; Hong *et al.*, 2005).

En este sentido estos métodos de interpolación son utilizados para crear una superficie continua de variables climáticas como temperatura y precipitación (Dressler

et al., 2000), diversos autores han propuesto métodos de interpolación, y se han hecho además diversos estudios para tratar de identificar la metodología que genere el modelo que mejor se ajuste a la variable precipitación para un área determinada. Con herramientas más avanzadas como los SIG y la inclusión de herramientas geoestadísticas, se han desarrollado nuevas metodologías que incluyen en el procedimiento de interpolación variables topográficas y geográficas como información secundaria (Agnew and Palutikof, 2000; Ninyerola *et al.*, 2000; Marquínez *et al.*, 2003).

Métodos de interpolación que permiten la interacción de datos topográficos y geográficos han sido utilizados en diversas partes del mundo para generar mapas de precipitación (Hevesi *et al.*, 1992; Agnew y Palutikof, 2000; Ninyerola *et al.*, 2000; Daly *et al.*, 2002; Brown y Comrie, 2002). Estos métodos usan modelos estadísticos multivariados que permiten evaluar las relaciones de los datos climáticos con las variables geográficas y topográficas de las estaciones climáticas y su correlación espacial (Ninyerola *et al.*, 2000; Brown y Comrie, 2002). Actualmente, la combinación de modelos de regresión con métodos geo-estadísticos hace posible el desarrollo de cartografía climática con predicciones precisas y mínima varianza espacial (Vicente-Serrano *et al.*, 2003).

En México han sido pocos los esfuerzos realizados para evaluar la bondad de métodos de interpolación de datos climáticos, en este sentido el análisis comparativo desarrollado por Díaz *et al.*, en 2006, en el que evaluó cuatro métodos de interpolación para representar espacialmente la precipitación particularmente en la región de sotavento y barlovento del Golfo de México¹, concluyen que el método thin plate smoothing spline fue el de mayor eficiencia. Por otra parte el trabajo de Nuñez Daniel *et al.*, 2014 y el trabajo presentado en el congreso internacional de Ingeniería Geomática y Topográfica por Portales Cristina *et al.*, 2008 apuntalan la generación de modelos de regresión lineal múltiple (MRLM) utilizando variables que tienen alta influencia en la distribución de la precipitación.

Considerando lo anterior y además de que Ramos Silvia *et al.*, 2010 indican que la variabilidad en la distribución de las precipitaciones es un comportamiento que se expresa altitudinalmente en el territorio estatal, el objetivo de este trabajo es el de proponer un adecuado método para realizar un continuo de la precipitación en el estado de Chiapas, con información de 175 estaciones meteorológicas distribuidas en el estado, para tal efecto

se realizó un análisis comparativo entre los dos métodos de interpolación más utilizados para interpolar precipitación. Actualmente los métodos de Co-Kriging y de MRLM (Modelo de Regresión Lineal Múltiple) son métodos que permiten incluir variables que se relaciona con la precipitación, de tal forma que Vicente Serrano *et al.*, 2003 indican que, la combinación de modelos de regresión con métodos geo-estadísticos como el Co-Kriging hace posible el desarrollo de cartografía climática con predicciones precisas y mínima varianza espacial.

MÉTODO

El estado de Chiapas se encuentra al sureste de México y tiene una extensión territorial de 73 670 km², que representa aproximadamente 3.8 % de la superficie total del país, sus coordenadas geográficas extremas son las siguientes: al norte 17°59'00" y al sur 14°32'00" de latitud Norte; al este 90°22'00" y al oeste 94°14'00" de longitud Oeste (INEGI, 2000). Colinda al norte con el estado de Tabasco; al este y sureste con la República de Guatemala; al sur y suroeste con el océano Pacífico, y al oeste con los estados de Oaxaca y Veracruz. (SEGOB CHIAPAS, 2016). La mayor parte del estado está conformado por sierras, al sureste se encuentran las mayores altitudes como el cerro Mozotal con 3,050 msnm y el volcán Tacaná con 4,080 metros sobre el nivel del mar (msnm) en los límites con la República de Guatemala, por otra parte, la región norte del estado presenta lluvias todo el año, en el resto de la entidad, abundantes lluvias en verano. La precipitación total anual varía, dependiendo de la región, de 1,200 mm a 4,000 mm (INEGI, 2012).

Para estimar el continuo de precipitación con los métodos de interpolación de IDP, y Kriging Ordinario, se utilizaron 175 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el estado, por otra parte, además de utilizar las estaciones, se utilizó la variable altura al aplicar los métodos de Co-kriging Ordinario.

Inversa de la distancia ponderada (IDP). Los continuos de precipitación mensual obtenidos a partir del método IDP se realizaron a partir del programa ArcGis 9.3, específicamente con el módulo Análisis Geoestadístico y la Extensión Asistente Geoestadística, extensión que permite calcular los valores óptimos de potencia, y realizar el método estadístico de validación cruzada, lo que permitió identificar lo bien que el modelo predice los valores desconocidos. Para este caso se consideraron los valores de potencia y de vecinos que arrojaran datos de la media cercanos a cero y los valores de desviación típica más bajos, como se muestra en la Tabla 1.

¹ Se ubica en entre los 19° 55' 48" y 18° 47' 24" de latitud norte y los 99° 09' 00" y 96° 03' 36" de longitud Oeste.

Datos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Potencia	1.1476	3.1425	2.7271	1.326	21.63	3.6993
Vecinos	3	14	6	6	10	3
Media	-0.6601	-1.074	0.5652	1.21	2.473	3.78
Datos	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Potencia	3.2947	3.1516	1	3.3269	2.7719	2.5732
Vecinos	25	2	10	25	5	2
Media	0.9014	3.471	-0.5127	0.04	-0.6207	-0.9283

TABLA 1 Datos de Potencia y Vecinos que generan mejores datos de Media y Desviación Típica.

Kriging Ordinario (KO). Con el módulo Análisis Geoestadístico y la extensión Asistente Geoestadístico, del programa ArcGis 9.3, se desarrolló el proceso para elaborar continuos de precipitación en el estado de Chiapas, para ello se realizó un análisis geoestadístico previo para determinar los parámetros que permitieron

obtener continuos de precipitación con mejor bondad estadística. Para el método KO se estimaron los datos de transformación y tendencia como ayuda de la aplicación Explorador de datos/ Histograma (figura 1); se identificó el tipo de transformación que los datos requieren a partir de la distribución.

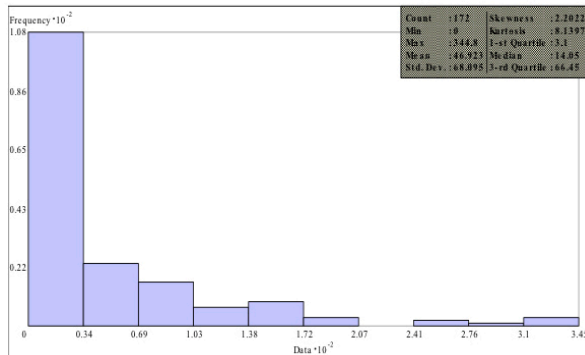


FIGURA 1 Histograma de precipitación media mensual.

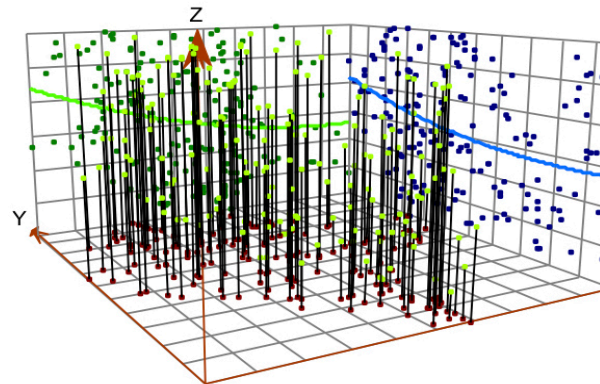


FIGURA 2 Gráfico de tres dimensiones.

Por otra parte con la aplicación Explorador/ Análisis de tendencia (figura 2) se identificó la tendencia que sigue la distribución de los datos, de tal forma que los datos de transformación y tendencia de cada mes se representan en la tabla 2.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Transformación	None	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log
Tendencia	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden	3er Orden

TABLA 2 Ajuste estadístico de los datos de transformación y tendencia de precipitación por mes.

Fue necesario definir si los datos mensuales presentaban Anisotropía o Isotropía, en este sentido se definió que enero, marzo y noviembre presentan Isotropía, mientras que el resto de los meses presentan Anisotropía. Por otra parte, es necesario determinar el modelo que mejor se aproxime a la varianza de los datos mensuales, esto se realizó con la aproximación de la *meseta parcial* al valor de la varianza de cada mes, el modelo con mejor aproximación para cada mes se representa en la tabla 3.

Modelo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Circular	1054.4	0.205	0.2025	0.137	0.0346	0.0208	0.032599	0.04022	0.04245	0.08537	0.1369	0.2688
Esférico	1010.3	0.17981	0.1843	0.125	0.02697	0.0183	0.031314	0.038095	0.0398	0.08004	0.1256	0.29489
Tetraesférico	984.52	0.4258	0.1683	0.116	0.05215	0.016242	0.030329	0.036494	0.03779	0.07499	0.1185	5.50E-07
Pentaesférico	936.09	0.1742	0.1539	0.108	1.75E-07	0.013604	0.02952	0.035188	0.03598	0.07088	0.1121	3.62E-07
Exponencial	1138.1	0.2928	0.201	0.156	1.41E-07	0.019009	0.038643	0.046193	0.04613	0.09682	0.1568	2.99E-07
Gausiano	993.19	0.1823	0.184	0.12	0.030824	0.017908	0.028172	0.034901	0.03843	0.0774	0.1185	0.22813
Cuadrático	896.83	0.4795	0.157	0.137	2.23E-07	1.63E-08	0.09699	0.034109	0.03463	0.08019	0.12	0.37376
Efecto Agujero	631.04	0.2067	0.176	0.159	0.001146	0.0060623	0.016744	0.0200007	0.02235	0.04142	0.06034	0.22022
K-Bessel	968.17	0.1834	0.176	0.1164	0.029125	0.017438	0.027789	0.034341	0.03776	0.07449	0.1151	0.26703
J-Bessel	731.59	0.0094	0.005	0.0006	0.00042	0.000002	0.0053381	0.0025431	0.02632	0.0002	0.001854	0.037744
Estable	974.4	0.1825	0.1838	0.119	0.000614	0.017907	0.028114	0.034773	0.03834	0.0761	0.11838	0.28612
VARIANZA	4636.93	2.25	1.22	0.66	0.31	0.15	0.18	0.18	0.18	0.48	0.94	2.33
DESVIACIÓN	68.095	1.5003	1.1066	0.80966	0.55843	0.38815	0.4256	0.4298	0.42802	0.68966	0.97006	1.5253

TABLA 3

Aproximación de los valores meseta parcial a los valores de varianza de cada mes.

Posteriormente se realizó el ajuste de número de vecinos y tipo de sectores que genera mejor valor de media cuadrática estandarizada (valor que debe de ser cercano a uno). Y finalmente se realizó el cálculo de confiabilidad (tabla 4). A partir de estos datos se generó el continuo de precipitación del estado de Chiapas para cada mes.

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Media cuadrática	38.57	57.12	39.96	41.6	73.47	104.3
Error promedio estándar	35.45	180.4	87.16	49.05	74.94	100.8
Media cuadrática estandarizada	1.078	0.914	0.76	0.8427	0.8466	0.9777
Confiabilidad	48.97	91.81	97.16	97.27	93.53	94.82
Parámetro	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media cuadrática	99.75	110.1	122.3	138.1	169.7	101
Error promedio estándar	98.27	106.8	118.9	153.4	193.6	269.7
Media cuadrática estandarizada	0.9977	1.006	0.9648	0.9047	0.9735	1.038
Confiabilidad	92.25	93.13	93.68	98.25	96.06	58.7

TABLA 4

Resultados estadísticos de cada mes con el método KO.

Co-Kriging Ordinario (CKO): Con el módulo Análisis Geoestadístico y la extensión Asistente Geoestadístico, del programa ArcGis 9.3, se realizó el proceso para elaborar continuos de precipitación en el estado de Chiapas aplicando el método CKO, los parámetros estadísticos transformación y tendencia para los datos de precipitación son los mismos utilizados con el método KO, mientras que para los datos de elevación se evaluaron

de la misma forma que los de precipitación, resultando que los valores de elevación no requieren transformación y la tendencia es de segundo orden. Los datos de Anisotropía o Isotropía, presentan el mismo patrón que los considerados en el KO y además se determinaron los modelos que mejor se ajusta para cada mes aplicando los criterios considerados en el análisis del KO los resultados se muestran en la tabla 5.

Modelo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Circular	-45.367	1.959	1.311	0.764	1.0331	0.53634	0.25682	0.33489	0.1348	0.16473	0.83101	54.363
Esférico	-59.06	3.013	1.845	1.267	1.2389	0.82766	0.33027	0.4995	0.2129	0.335	1.3216	22.883
Tetraesférico	-59.64	74.325	2.374	1.691	13.905	0.87231	0.8996	0.62364	0.2779	0.47808	1.5807	-0.0003
Pentaesférico	-77.77	3.8	2.625	2.037	0.000188	0.74531	0.43191	0.71187	0.3273	0.6115	1.9098	0.00018
Exponencial	-207.67	10.123	5.627	4.638	-0.0001516	1.4069	0.73459	1.3404	0.7486	1.1299	4.0896	-0.0002
Gausiano	-11.136	2.5	0.424	0.542	0.89865	0.43466	0.088738	0.20532	0.0578	0.07059	0.2901	42.323
Cuadrático	-207.21	48.65	0.424	8.513	-0.000239	0.00025	0.81414	1.3161	0.9425	1.7679	5.6604	36.021
Efecto Agujero	-6.8854	8.374	6.224	0.321	10.074	6.4419	0.091127	0.12503	0.0657	0.10335	0.2853	17.962
K-Bessel	-18.588	3.224	0.43	0.7681	1.1542	0.59857	0.14499	0.30667	0.0714	0.11939	0.47681	22.34
J-Bessel	-14.11	30.457	22.56	7.9632	6.1586	0.44331	-2.8837	-0.49023	0.1037	3.9792	13.263	34.809
Estable	-16.118	2.497	0.437	0.56025	0.86976	0.43438	0.090573	0.20581	0.0557	0.09076	0.30957	25.593
VARIANZA	-45.367	1.959	1.311	0.764	1.0331	0.53634	0.25682	0.33489	0.1348	0.16473	0.83101	54.363
DESVIACIÓN	-59.06	3.013	1.845	1.267	1.2389	0.82766	0.33027	0.4995	0.2129	0.335	1.3216	22.883

TABLA 5 Aproximación de los valores meseta parcial de cada mes con el método CKO.

Se realizó el ajuste de número de vecinos y tipo de sectores que genera mejor valor de media cuadrática estandarizada, y además los datos de confiabilidad que se presentan en la tabla 6. A partir de estos datos se generó el continuo de precipitación del estado de Chiapas.

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Media cuadrática	41.02	75.9	39.96	53.41	96.56	115.8
Error promedio estándar	41.2	221.2	87.16	54.58	82.65	105.8
Media cuadrática estandarizada	0.9904	0.9548	0.76	0.9517	0.9369	1.006
Confiabilidad	46.2	90.59	97.16	97.202	90.38	94.54
Parámetro	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Media cuadrática	105.2	117.3	134.4	164.8	149.1	117.5
Error promedio estándar	102.9	113.6	123	156.5	158.5	290.9
Media cuadrática estandarizada	1.001	0.9998	1.001	0.9521	0.9414	1.158
Confiabilidad	92.64	93.12	93.56	98.24	95	29.2

TABLA 6 Resultados estadísticos de cada mes con el método CKO.

RESULTADOS

Para evaluar la bondad de los continuos de precipitación en términos estadísticos y de distribución de la precipitación, se realizó la validación cruzada con ayuda del asistente geoestadístico del software ArcGis 9.3. Los datos estadísticos calculados para la evaluación son el coeficiente de determinación (R^2), el error medio cuadrático (RMSE) y el error medio absoluto (MAE) (Vicente-Serrano *et al.*, 2003).

Las siguientes gráficas representan el comportamiento y tendencia de las pruebas estadísticas aplicadas a los continuos de precipitación mensual obtenidos con los métodos IDP, KO y CKO. En la figura 1, se observa que los resultados de la prueba R^2 indican que el método que tiene un mejor acercamiento a uno es el método IDP, y el método de menor acercamiento es el método CKO. En la figura 2, se observa que en los datos generados con la prueba EMC, el método de interpolación que genera datos más bajos (cerca de cero), es el IDP y finalmente en la figura 3, se observa que de los datos estadísticos generados con la prueba EMA. El método de interpolación que mejor se aproxima a cero es nuevamente el IDP, de tal forma que para las tres evaluaciones estadísticas el modelo que mejor bondad estadística presenta es el Inverso de la Distancia Ponderada.

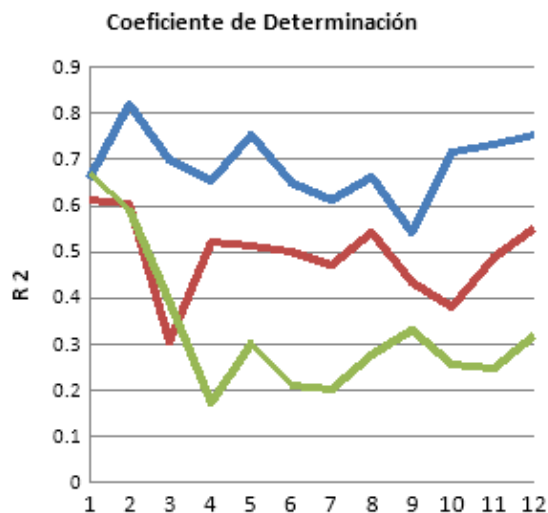


FIGURA 1

Datos obtenidos con la prueba Coeficiente de Determinación.

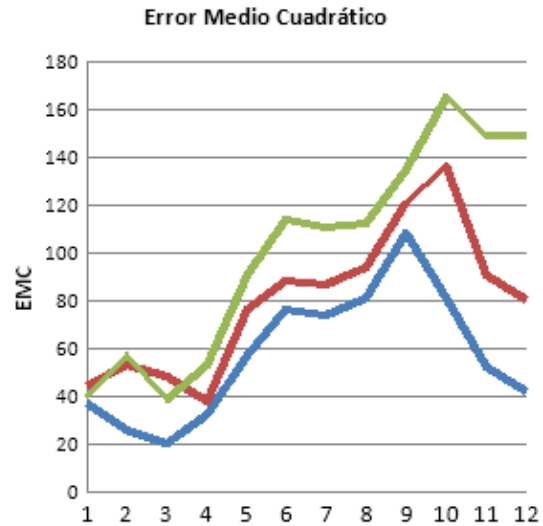


FIGURA 2

Datos obtenidos con la Error Medio Cuadrático.

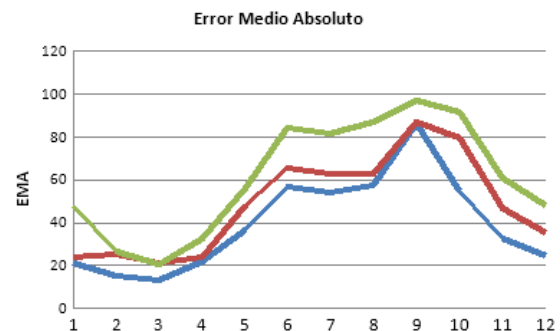


FIGURA 3

Datos obtenidos con la prueba Error Medio Absoluto.

La figura 4 presenta la distribución del continuo de precipitación anual en el estado de Chiapas, en donde se puede observar que la zona con menor precipitación anual es la depresión central del estado, las zonas en donde existe mayor precipitación anual es la parte norte y la región del Soconusco.

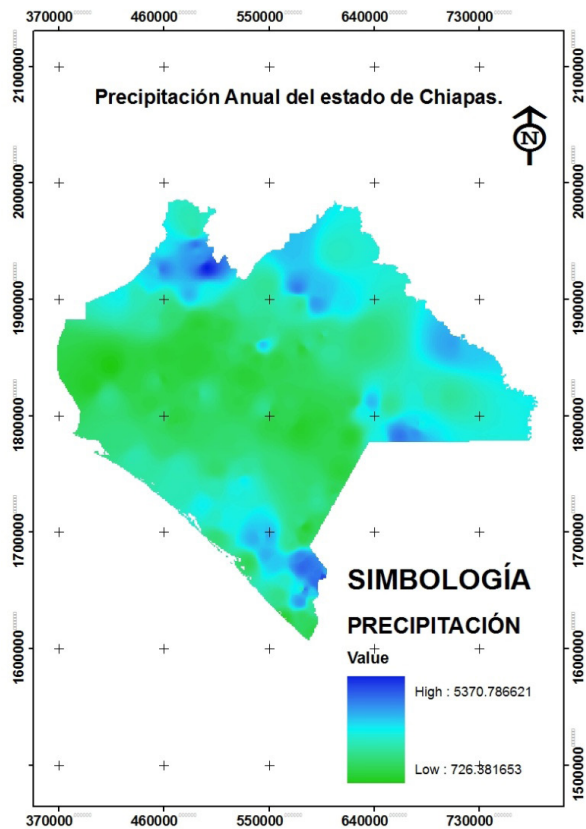


FIGURA 4

Continuo de precipitación anual del estado de Chiapas.

CONCLUSIONES

En este trabajo analizaron tres métodos de interpolación para obtener continuos de precipitación para el estado de Chiapas. En primer lugar, se determinaron los parámetros que aseguraban un mejor acercamiento en el continuo de precipitación según los criterios estadísticos antes mencionados. En segundo lugar, se calcularon los modelos y se estadísticamente a través de la validación cruzada. Para el modelo CKO se añadió como variable secundaria los valores de elevación. Las conclusiones que se derivan del análisis se pueden resumir en estos puntos:

1. El método de interpolación Inversa de la Distancia Ponderada, que ha sido tradicionalmente utilizado para la interpolación de datos de precipitación, ha proporcionado mejores precisiones en cada mes, que los métodos geoestadísticos, y por tanto se recomienda seguir aplicando este método para el estado de Chiapas.

2. El método CKO mostró deficiencias con la variable secundaria seleccionada (altura), para lo que se recomienda realizar pruebas con variables como temperatura, cercanía a costas y variables geográficas.

3. Finalmente, es recomendable realizar Modelos de Regresión Lineal Múltiple, con los ajustes estadísticos necesarios y evaluar su bondad para la generación de continuos de precipitación del estado de Chiapas.

LITERATURA CITADA

- AGNEW, M.D. & J.P. PALUTIKOF, 2000.** GIS-based construction of base line climatologies for the Mediterranean using terrain variables. *Climate Res.* 14: 115-127.
- APAYDIN, H, F. KEMAL SONMEZ, Y. ERSOY YILDIRIM, 2004.** Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *Climate Res.* 28:31-40.
- BROWN, D. P. AND COMRIE, A. C. 2002.** Spatial modeling of winter temperature and precipitation in Arizona and New Mexico, USA. *Climate Research.* 22:115-128
- DALY, C. W. P. GIBSON, G. H. TAYLOR, G. L. JOHNSON, P. PASTERIS, 2002.** A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. *Climate Res.* 22: 99-113.
- DÍAZ, P. G. C. J. ARUIZ, G.G. MEDINA, G. M. A. CANO, A. V. SERRANO, 2006.** Estadísticas climáticas básicas del estado de Tabasco (periodo 1961-2003). INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. Libro Técnico. Núm. 12. 159 p.

- DRESSLER, K.A., S. R. FASSNACHT, R. C. BALES, R. E. DAVID, D. LAMPKIN, D. E. MYERS, 2000. Geostatistical interpolation of point-measured SWE in the Colorado River Basin. EOS Transactions. *American Geophysical Union, Fall Meet. Suppl. 81 (48): F 397.*
- GOBIERNO DE CHIAPAS. (2016). *Ubicación de Chiapas*. Recuperado de: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:FZAFOS7uzAAJ:www.chiapas.gob.mx/ubicacion+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx>
- HEVESI, J. A., ISTOK, J. D. AND FLINT, A. L. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural analysis. *J. Appl. Meteorol.* 31:661–676.
- INEGI (2012). Página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Clima de Chiapas*. Recuperado de: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chis/territorio/clima.aspx?tema=me&e=07>
- MARQUÍNEZ, J., J. LASTRA & P. GARCÍA, 2003. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. *J. Hydrology.* 270: 1-11.
- NEW, M. & M. HULME, 2000. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II. Development of 1901 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climatol.* 13: 2217-2238.
- NINYEROLA, M., X. PONS, J. M. ROURE, 2000. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *Int. J. Climatol.* 20: 1823-1841.
- NUÑEZ, D. *et al.* (2014). Uso de modelos de regresión para interpolar espacialmente la precipitación media mensual en la cuenca del río Conchos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 201-213.
- PORTALES C., N. BORONAT-ZARCÑO Y J.E. PARDO-PASCUAL, 2008. Un nuevo método para el cálculo de precipitaciones medias mediante técnicas de interpolación geoestadística considerando las características geográficas y topográficas del territorio. *Congreso internacional de ingeniería en Geomática y Topográfica, IX Congreso Nacional TOP-CAR Valencia.*
- RAMOS S., J.C. MOTA, H. MORALES, E. CASTELLANOS, I.G. COSSÍO, R.A. DÍAZ, L.H. GÓMEZ Y J.L. SERRANO, 2010. *Escenarios climáticos para el estado de Chiapas*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (CIGERCC).
- VICENTE-SERRANO, S.M., M. A. SAZ-SÁNCHEZ, J. M. CUADRAT, 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Res.* 24: 161-180.