

# Calidad espacial y análisis territorial de datos climatológicos: el caso del Estado de México

CARLOS DÍAZ DELGADO, ANTONIO ITURBE POSADAS, KHALIDOU MAMADOU BÂ Y FRANCISCO REYNA SÁENZ\*

## *Spatial Quality and Territorial Analysis of Climatological Data: Case of the State of Mexico*

**Abstract.** *In the present paper it is showed the importance of quality in geographic locations of meteorological stations all over the State of Mexico, its implication and risk of mistakes during the development of hydrological processes and analysis. This work is developed taking into account two meteorological data banks, one of them corresponding to the National Water Commission (CNA, Mexico) and the other one is the management system for climatological data of the World Meteorological Organization from the Meteorological National Service (CLICOM, Mexico).*

## Introducción

Actualmente, la obtención de información climatológica es todavía un problema por resolver en América latina. Si bien en México existen más de 4,500 estaciones meteorológicas, no todas obtienen las variables deseadas para cada región en particular, y su densidad y ubicación son cuestionadas continuamente (Collado y Toledo, 1997).

Sin embargo, es loable por parte de las diferentes instituciones a nivel nacional encargadas de la obtención y administración de información, el gran banco de datos generado. Para algunas estaciones están disponibles más de 100 años de datos climatológicos para la realización de múltiples estudios encaminados hacia aspectos que finalmente tienen un marco de referencia territorial.

La necesidad de contar con información climatológica es de sobra conocida. Su aplicación va desde los aspectos hidrológicos, agrícolas, estudios de riesgos naturales por eventos hidrometeorológicos, hasta aspectos relacionados con el turismo. En este sentido, diversas instituciones gubernamentales, y sobre todo de investigación, hacen uso de ella. Por citar algunos trabajos con base en este tipo de

información se encuentran el Atlas Nacional de México, particularmente las secciones de clima y agroclimatología (UNAM, 1990); mapas de climas, temperatura media anual y precipitación media anual para el Estado de México en el Atlas Escolar del Estado de México (Morales, 1992); los climas del Estado de México (Morales, 1994); algunos usos de bioclimas: un sistema especializado de información geográfica (Soto *et al.*, 1996); el Atlas Ecológico de la Cuenca Hidrográfica del Río Lerma (Gobierno del Estado de México *et al.*, 1997a); Carta de clima, precipitación y temperatura (INEGI, 1981). Sin embargo, hasta el momento no es posible asegurar la validez de la información, y ello considerando exclusivamente la variable espacial o referencia geográfica, para garantizar resultados veraces y satisfactorios de análisis con base en estas variables.

En las últimas dos décadas se ha abordado en diversos trabajos de investigación, sobre todo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), disertaciones sobre la importancia de la calidad de los datos geográficos, evaluándose los errores y los principios para su manejo (Walsby, 1995; Foote y Huebner, 1995).

\* Centro Interamericano de Recursos del Agua. Facultad de Ingeniería, UAEM. Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria. C. P. 50130, Toluca, Estado de México. Teléfono y Fax: (729) 655 50 y 655 51.

Correo electrónico: cdiaz@coatepec.uaemex.mx

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos CONACYT 0389-T y UAEM 1069/95, por lo cual los autores y participantes del proyecto agradecen el financiamiento otorgado. Complementariamente, los autores agradecen la contribución de las siguientes personas que han colaborado de manera importante en las diversas etapas del proyecto: Juan Antonio García Aragón, Ma. Vicenta Esteller Alberich, Paulino Delgado Martínez, Mario Mendoza Flores y Ma. de los Angeles Domínguez.



El interés que han despertado los errores en los datos digitales se basa sobre todo en la inherente propagación de las deficiencias en los procesos de análisis posteriores, lo cual conlleva a la falsa modelación de los fenómenos, interpretaciones desvirtuadas, falsas inferencias y, en el peor de los casos, a la toma de decisiones erróneas.

Goodchild (1988) expone la existencia de tres tipos de errores en las bases de datos espaciales: errores en la posición de los objetos, en los atributos asociados a los objetos y en la modelación de variaciones espaciales sobre los objetos o entre los objetos, asumiendo una homogeneidad espacial.

Las inexactitudes e imprecisiones son consideradas como errores de las bases de datos. Foote y Hubner (1995), dividen a los tipos de error en errores de posición, de atributos, conceptuales y lógicos; sin embargo, los dos últimos se refieren principalmente al uso impropio de la información y no a los datos en sí. El principal tipo de error reconocido es la posición.

La precisión de los objetos depende de los procesos cartográficos con los cuales fueron generados, de las formas de abstracción y generalización, por lo que estos cambios son sensibles tanto a la escala como a la naturaleza del objeto (Goodchild, *op. cit.*). La importancia del nivel de resolución de la cartografía base y la exactitud de la cartografía digital, requerida en aplicaciones particulares, ha sido ampliamente reconocida como una característica básica para determinar su utilidad (Rhind y Clark, 1988; Foote y Huebner, *op. cit.*; Goodchild, *op. cit.*).

Dentro de las múltiples fuentes de error en la posición, las más comunes son las deficiencias en los procesos de captura tanto de información espacial como de los atributos asociados, debido a la falta de control, verificación y no aplicación de controles de calidad, en procesos y productos.

Las imprecisiones en la transferencia de cartografía analógica a formato digital son la principal forma de generación de errores; este método es el mecanismo de ubicación de las estaciones meteorológicas en un contexto territorial. Un método sencillo empleado para conocer el error en datos de puntos, es la realización de sobreposiciones de capas temáticas de puntos en polígonos, bajo la premisa de que los elementos puntuales deben coincidir con los atributos del polígono que la contiene. Los atributos unidos pueden ser comparados con información real. En ocasiones, la simple evaluación visual al sobreponer gráficamente dos o más capas temáticas es suficiente para evidenciar el error de posición, así como el desplazamiento de entidades.

En De la Vega (1995), se presenta un ejemplo de la no coincidencia entre datos areales (país, estado, municipio) y datos puntuales (localidades), encontrándose errores como localidades sin coordenadas, localidades con las mismas

coordenadas, localidades con coordenadas mayores a 180° en longitud y mayores de 90° en latitud, así como localidades adscritas a un estado o municipio y que se encuentran fuera de sus límites. Contradicciones similares han sido encontradas en los resultados del nomenclátor del Estado de México, 1995 (Iturbe, 1997).

Respecto a la información climatológica, en 1997 Collado y Toledo sugirieron a la Comisión Nacional del Agua (CNA) la instalación adicional de 400 estaciones climatológicas automáticas y diez observatorios meteorológicos en la República Mexicana. El procedimiento seguido para su ubicación óptima se basó en la determinación de las estaciones con mayor jerarquía en el sentido de ser las que más aumentan la variación del error en la estimación de la precipitación media, por lo tanto, son las más representativas de un área. Para ello fueron empleados los registros de 4,594 estaciones climatológicas convencionales con coordenadas conocidas, incluidas en el CLICOM (CLimate COMputing, sistema para el manejo de datos climáticos utilizado por la CNA y el Servicio Meteorológico Nacional, de la Organización Meteorológica Mundial). La información meteorológica fue modelada matemáticamente para generar isoyetas a través del método de interpolación *Krigging* (Collado y Toledo, *op. cit.*).

Así pues, el objetivo del presente artículo es hacer énfasis en las diferencias de cálculos hidrológicos que pueden conducir a datos de localización erróneos de las estaciones meteorológicas en una determinada región, y particularmente en el Estado de México.

## I. Información procesada

El presente trabajo se desarrolla con las siguientes bases de datos:

a) Información del CLICOM, derivada del banco de datos digital Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC, 1996), de la cual se obtuvieron las claves de las estaciones meteorológicas, las coordenadas geográficas de cada estación y el nombre de la misma. Se contaron un total de 339 estaciones meteorológicas para el Estado de México.

b) Datos de las estaciones meteorológicas, recopilados por la CNA regional del Estado de México para la generación de la carta de aguas superficiales 1:250,000 (Gobierno del Estado de México, 1997b), donde 347 fue el número de estaciones obtenidas.

En la generación de la primera base de datos es de destacar que se presentan algunas inconsistencias, tales como duplicidad de estaciones y la inclusión de una estación meteorológica no correspondiente a la entidad estatal.

Las coordenadas que definen la posición geográfica de las estaciones en ambas bases de datos se encuentran en el

formato LOLA (longitud, latitud) en grados decimales. Posteriormente, se proyectaron las estaciones con la ubicación geográfica dada por cada base de datos al sistema de coordenadas UTM, zona 14, bajo el dato geodésico NAD27 para su manipulación y análisis de forma más asequible. Al utilizar el programa de SIG Arc/INFO, se proyectó espacialmente la información de las dos bases de datos generadas. La figura 1 muestra el resultado.

Un simple análisis visual de la figura anterior revela que las estaciones meteorológicas proyectadas con base en la información obtenida del CLICOM (puntos grises), presentan inconsistencias evidentes y significativas, como estaciones climatológicas fuera del límite estatal. A partir de esta consideración, se supone un mayor grado de precisión en los datos de ubicación geográfica contenidos en la base de datos derivada de la CNA regional del Estado de México, en la cual esta característica no se presenta.

Sobresale, a su vez, la poca coincidencia entre estaciones; es decir, el error de una manera general no se presenta en ciertos puntos de colecta de datos meteorológicos; casi la totalidad de estaciones presentan gran irregularidad que se traduce en incertidumbre de cuál fuente de georreferenciación es la correcta.

Con los datos proyectados de las dos bases de datos en el sistema de coordenadas UTM, en la zona 14, y sólo con aquellas estaciones meteorológicas coincidentes con la clave del CLICOM, se derivó una tabla integrada por el código, las coordenadas en longitud y en latitud en correspondencia con la fuente. Así, se calculó la distancia euclidiana entre las estaciones correspondientes, con base en el Teorema de Pitágoras.

Los resultados revelan serios errores de georreferenciación para las estaciones climatológicas. La tabla 1 muestra una serie de estadísticas que describen el grado de error entre ambas bases de datos.

A partir de las coordenadas para cada estación meteorológica, se generó una cobertura digital de líneas que unen a cada estación meteorológica correspondiente (figura 2). El resultado muestra la severidad del error en la georreferenciación entre las bases de datos señaladas. Es importante destacar el patrón espacial de configuración de las líneas donde suceden los mayores errores en la posición geográfica, las cuales por lo general son verticales u horizontales. Esto, muy probablemente se deba a la poca calidad en la conversión digital de la información por problemas en la captura de los datos.

Un método de análisis hidrológico, derivado de la información (puntual) de las estaciones meteorológicas, es la generación de polígonos de Voronoi o Thiessen. El objetivo es calcular el total de precipitación para una determinada área territorial, considerando la relación de vecindad entre las estaciones meteorológicas adyacentes. Para el pre-

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS CNA Y CLICOM.

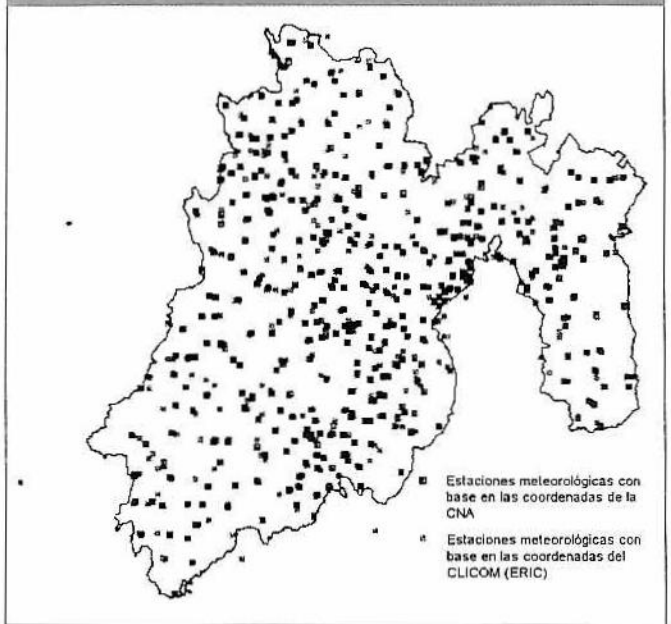
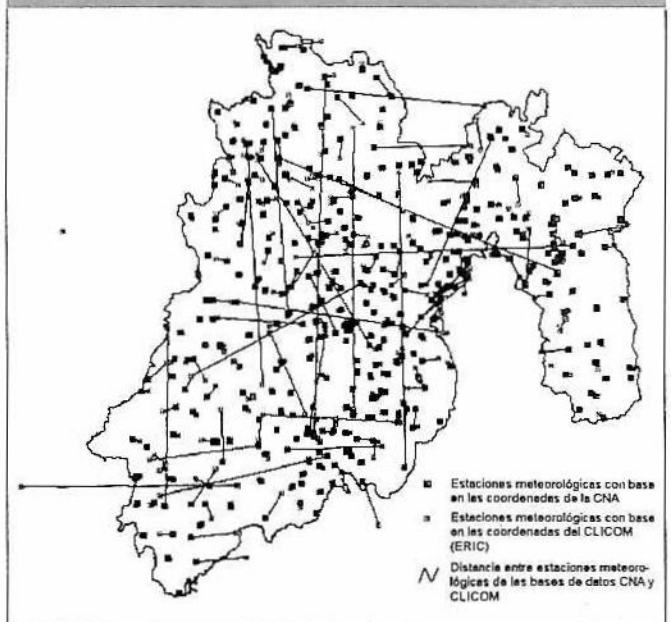


TABLA 1

RESUMEN DE ERRORES ENTRE LAS DISTANCIAS DE LA GEOPOSICIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS (CNA-CLICOM)	
NÚMERO DE ESTACIONES ANALIZADAS	339
DISTANCIA MEDIA ENTRE ESTACIONES CORRESPONDIENTES	8.07 KM
ERROR MÍNIMO	0.00 KM
ERROR MÁXIMO	135.75 KM
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	19.45 KM

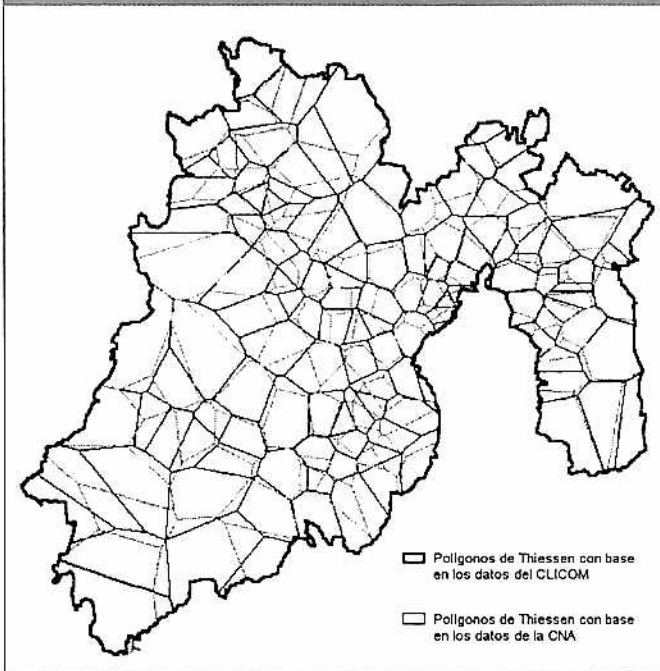
FIGURA 2. UBICACIÓN DIFERENCIAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CNA Y CLICOM.



sente caso, se realizaron sobre ambas bases de datos los procesos para la generación de polígonos de Thiessen con el software de SIG Arc/INFO. La figura 3 ilustra el correspondiente resultado.

Las líneas en color gris muestran los polígonos de Thiessen derivados de la georreferenciación de las esta-

FIGURA 3. DIFERENCIAS EN POLÍGONOS DE THIESEN A PARTIR DE LA POSICIÓN GEOGRÁFICA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CNA Y CLICOM.



ciones meteorológicas, según la Comisión Nacional del Agua. En contraparte, los polígonos definidos por las líneas de color negro resultan de la ubicación geográfica contenida en la base climatológica CLICOM. Es evidente la gran disparidad en cuanto a los datos que definen la ubicación geográfica de las estaciones, según ambas bases de datos, lo que trae consigo fuertes diferencias en los resultados al ser analizados de manera espacial.

Los errores presentes en la geoposición de las estaciones meteorológicas de cada fuente de información, traen consigo grandes diferencias al aplicar procesos de análisis hidrológicos. La generación de isoyetas por cálculos de interpolación es una tarea común para la obtención de los volúmenes de precipitación en cuencas hidrográficas.

Con las dos bases de datos y la precipitación media de los meses de julio y agosto de 1979, se generaron los correspondientes mapas de isoyetas. El cálculo de interpolación consideró los mismos parámetros para ambos mapas (método de Krigging con variograma universal) y sólo para aquellas estaciones meteorológicas donde existieran mediciones. Lo anterior, con el fin de que el proceso fuera homogéneo para ambas fuentes y no se

FIGURA 4. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE JULIO Y AGOSTO DE 1979 (CLICOM)

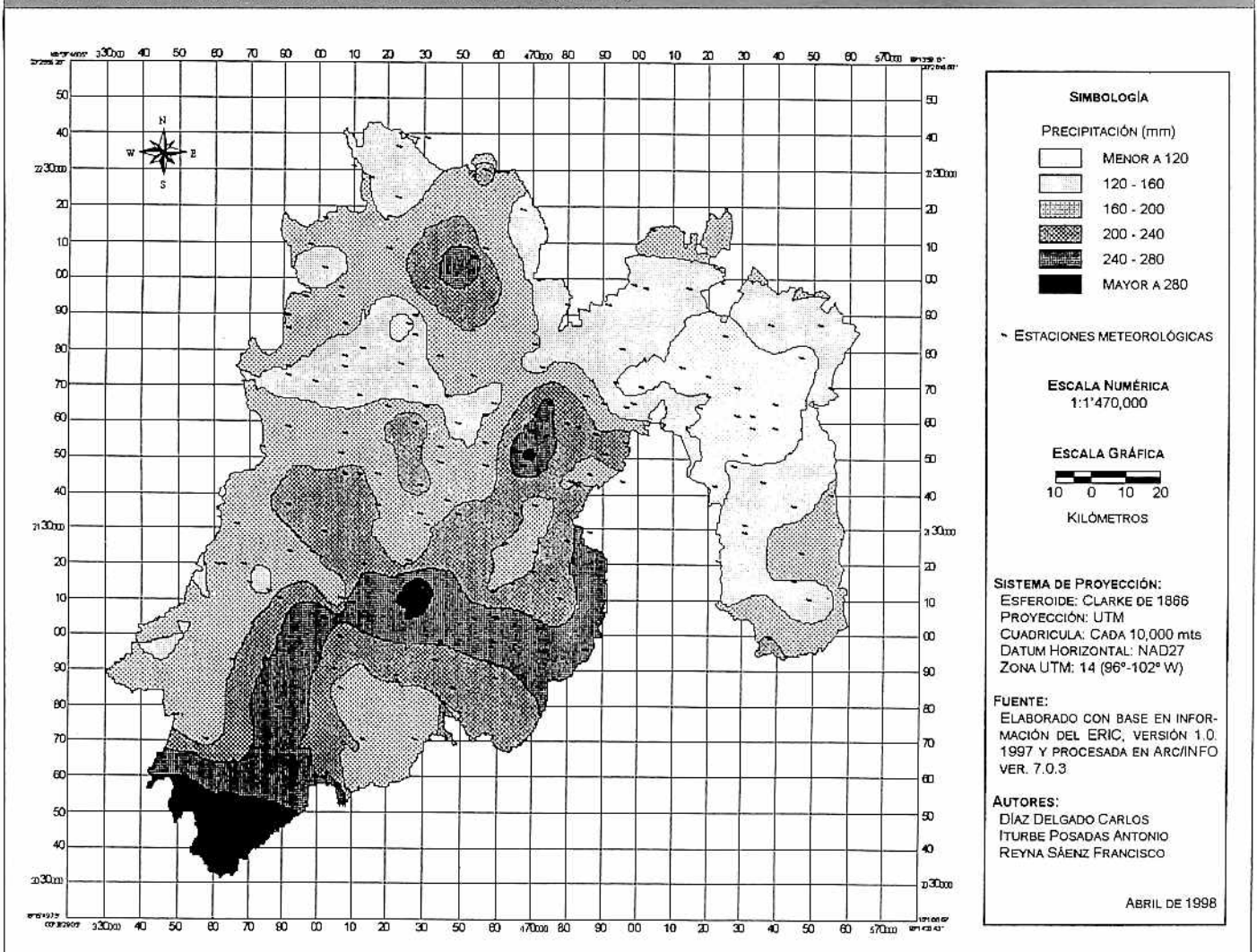
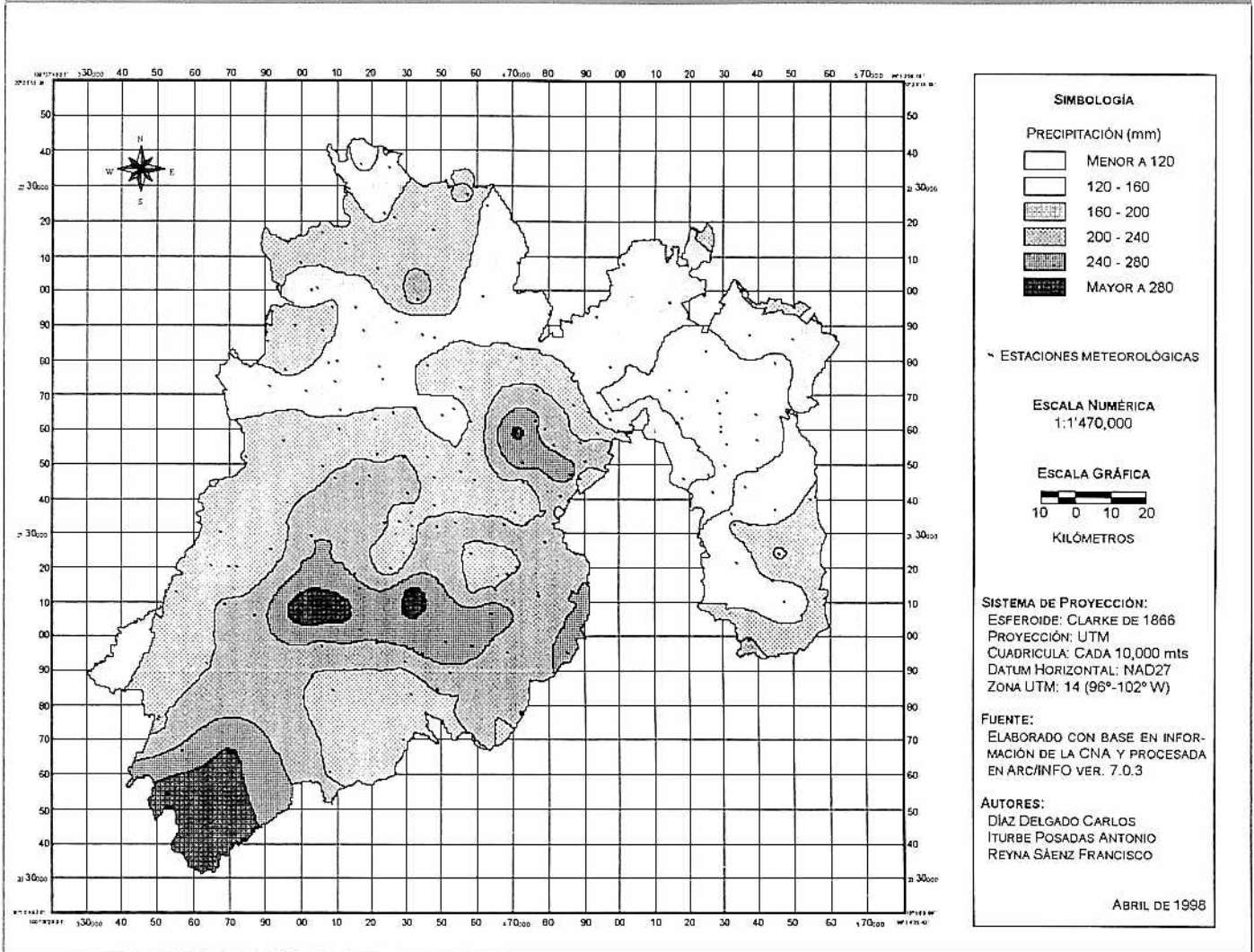


FIGURA 5. PRECIPITACION MEDIA MENSUAL DE JULIO Y AGOSTO DE 1979 (CNA).



contribuyera con la adición de un error diferencial para alguna de ellas (ESRI, 1992).

La figura 4 es el resultado de la precipitación, considerando la ubicación de las estaciones meteorológicas según el CLICOM y la figura 5 está elaborada con base en la georreferencia según la CNA. Es importante resaltar la notable diferencia que a simple vista se aprecia en ambos mapas. Con los datos contenidos en el CLICOM, la configuración de las isoyetas, sobre todo en la parte occidental y suroccidental del estado, resulta muy irregular así como la presencia de categorías aisladas. La mayor igualdad entre ambos mapas se presenta en el margen oriental del estado, y ello por la mayor coincidencia en la ubicación de las estaciones meteorológicas (figura 1 y 2).

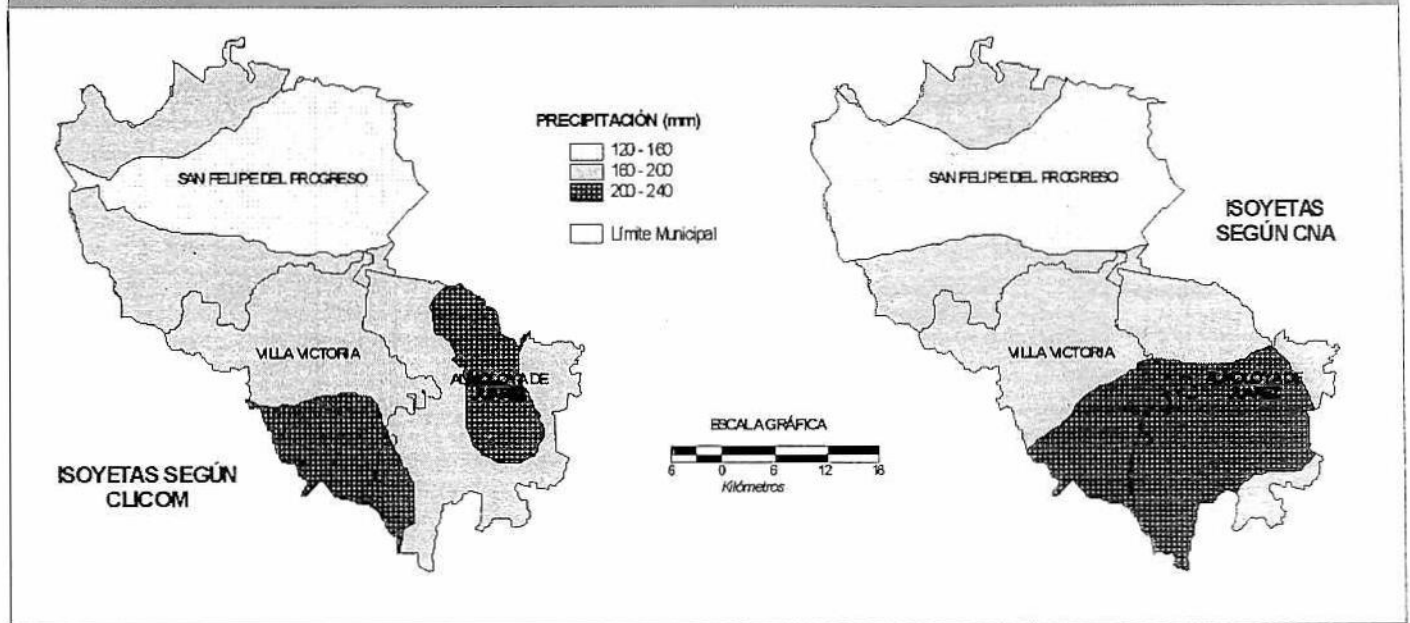
La cuantificación de la precipitación es de igual manera diferente. Si bien de forma global para todo el Estado de México existe 18% de diferencia en los volúmenes de lluvia, para algunas regiones de vocación agrícola la diferencia cuantificada de lluvia se eleva considerablemente, como en el caso de los municipios de San Felipe del Progreso, Villa Victoria y Almoloya de Juárez, con diferencias del 35% de discrepancia en la cantidad

de precipitación, considerando los intervalos empleados (figura 6).

Lo anterior es de suma importancia, considerando la utilidad práctica de esta información en el aspecto agrícola. La diferencia de 80 mm anuales de precipitación, encontrada en el ejemplo anterior, hace de los resultados una información de poco valor. Las estimaciones de necesidades reales de agua para cultivos o incluso para estudios de riesgo podrían ser totalmente diferentes.

En una campaña piloto de evaluación de la ubicación de las estaciones meteorológicas de la CNA, realizada por los autores a través de un levantamiento por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), con una disponibilidad promedio de siete satélites y un error estimado en las mediciones de +/- 25 m, diez estaciones presentaron errores que van desde los 35 m hasta poco más de 1,300 m. A partir de estos resultados, se hace patente la necesidad de verificar la información de la geoposición de las estaciones meteorológicas, además de realizar al mismo tiempo un inventario de la infraestructura, considerando aspectos cuantitativos y cualitativos para asegurar una mayor calidad en los datos recopilados.

FIGURA 6. VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN TRES MUNICIPIOS AGRÍCOLAS POR LA DISCREPANCIA EN LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS.




## Conclusiones

Es importante señalar que el presente trabajo lleva consigo un mensaje a los usuarios de información climatológica en el Estado de México y en el país, con la finalidad de evitar la inversión de recursos humanos y financieros en estudios hidrológicos que por no contemplar la característica espacial de la información, los resultados sean irreales. Resulta, pues, recomendable realizar un trabajo de verificación y, en su caso, corrección de la geoposición de la información climatológica.

Las deficiencias de la información climatológica en cuanto a las coordenadas que definen su posición geográfica de las dos bases de datos consideradas, afecta los procesos de manipulación y análisis; en ocasiones pueden desvirtuar la realidad y propiciar malas decisiones en la implementación de programas de desarrollo y aplicación de recursos económicos. La planeación territorial de la infraestructura climatológica requiere, para garantizar su per-

durabilidad y eficiencia, de datos lo más confiable posible.

Este artículo constituye una base de referencia para otras entidades del país que consideren la posibilidad de encontrarse ante la situación analizada. En otros estados y sobre todo en aquéllos donde la energía del relieve sea acentuada, por los cambios climáticos con la altitud, resulta aún más importante considerar la verificación y en su caso la corrección de geoposiciones de las estaciones meteorológicas.

Una de las acciones que ya se han iniciado a raíz del presente estudio, ha sido la conjunción de esfuerzos entre la Dirección de Infraestructura Hidráulica del Estado de México, la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México, la Comisión Nacional del Agua con sede en Toluca y la UAEM, a través del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA) y de la Facultad de Geografía, para realizar una campaña intensiva de georreferenciación por GPS y ortofotos escala 1:20,000 (IGESEM, 1982-1983) de las estaciones climatológicas y fuentes de abastecimiento en el Curso Alto del Río Lerma. 



## BIBLIOGRAFÍA

- Atkinson, Peter M. (1995). "A Method for Describing Quantitatively the Information, Redundancy and Error in Digital Spatial Data", en Peter Fisher (Editor). *Innovations in GIS 2*. Taylor & Francis, London.
- Collado, J. y Toledo, V. (1997). "Localización óptima de estaciones climatológicas y observatorios meteorológicos en la República Mexicana", en *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XII. Núm. 1.
- De la Vega Estrada, S. (1995). "Errores o procesos naturales", en *Memorias del Congreso de la Asociación Mexicana de Sistemas de Información Geográfica, 1995*, AMESIGE.
- ESRI. (1992). *GRID 6.0 Command References*. USA.
- ERIC (1996). *Extractor Rápido de Información Climatológica*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, México.

Foote, K. y Huebner, D. (1995). Department of Geography, University of Texas, Austin. K. Foote @mail.utexas.edu.

Gobierno del Estado de México *et al.*

\_\_\_\_ (1997 a). "Atlas Ecológico de la cuenca hidrográfica del Río Lerma. Tomo III. Atlas de Ecosistemas Productivos".

\_\_\_\_ (1997b). "Carta de Aguas Superficiales del Estado de México escala 1:250,000". En preparación.

Goodchild, M. (1988). "The Issue of Accuracy in Global Databases" en Roger F. Tomlinson. *Building Databases for Global Science*. Taylor & Francis. Ottawa, Canada.

INEGI. (1981). "Carta de clima, precipitación y temperatura", en *Atlas Nacional del Medio Físico*. Secretaría de Programación y Presupuesto. Escala 1:1,000,000.

Iturbe, A. (1997). *Reporte de errores presentes en el Nomenclátor del Estado de México, 1995*. Inédito.

Morales Méndez, C.

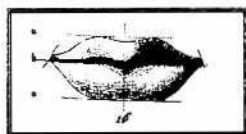
\_\_\_\_ (1992). "Mapa de climas, precipitación media anual y temperatura media anual", en *Atlas escolar del Estado de México*. Gobierno del Estado de México.

\_\_\_\_ (1994). "Los climas del Estado de México", en *Anuario No. 2*. Facultad de Geografía, UAEM.

Rhind, D. y Clark, P. (1988). "Cartographic Data Inputs to Global Databases". en Roger F. Tomlinson. *Building Databases for Global Science*. Taylor & Francis. Ottawa, Canada.

Soto, M. *et al.* (1996). "Algunos usos de bioclimas: un sistema especializado de información geográfica", en *Investigaciones Geográficas, boletín del Instituto de Geografía*. Número especial 4.

Walsby, Jennifer C. (1995). "The Causes and Effects of Manual Digitizing on Error Creation in Data Input to GIS", en Peter Fisher (Editor). *Innovations in GIS 2*. Taylor & Francis. London.



# Canadian Journal of Development Studies

## Editorial Policies

All articles submitted to the **Canadian Journal of Development Studies** are assessed anonymously by two or more outside readers. Multiple submissions are not accepted.

The journal is not responsible for the opinions expressed in the articles.

Manuscripts should be sent in three copies to the editorial office. They should include an abstract (with a *résumé* in french) of no more than 100 words, a short biographical note of the author (s), and a list of references. Manuscripts should be more than 30 pages, including the list of references, all double-spaced and printed on one side of the paper only. Articles should have an introduction and conclusion. Titles of sections and subsections should be numbered in Roman numerals, alphabetic capitals and Arabic numerals, successively. Tables, figures and maps should be numbered consecutively and placed on separate pages. Their location in the text should be indicated. Maps or graphs must be in cameraready copy.

### Submission of Manuscripts

### Style of References

For references in text, the *author-date* method of reference should be used, e.g. (Smith, 1980), (Jones, 1987, p. 10; Jackson, 1990, chap. 2). Endnotes are limited to content notes only, and should be numbered consecutively and placed on separated pages at the end of the paper.

The List of References is limited only to references cited in the article. The *Journal* uses the following style of references:

- book McClelland, D., *The Achieving Society*. Princeton, New Jersey, Van Nostrand, 1961.
- edited book Berger, M. and M. Buvinic, eds., *Women's Ventures: Assistance to the Informal Sector in Latin America*. West Hartford, Kumarian Press, 1989.
- article in book Rostow, W.W., The Take Off into Self-Sustained Growth, in Finkle, J.L. and R.W. Gable, eds., *Political Development and Social Change*. New York, John Wiley and Sons, 1971.
- journal article Keller, B. and D.C. Mbeve, Policy and Planning for the Empowerment of Zambia's Women Farmers, *Canadian Journal of Development Studies*, 12, 1991, p. 75-88.



Université d'Ottawa  
University of Ottawa



University of Ottawa  
538 King Edward Avenue  
Ottawa, Ontario  
Canada K1N 6N5  
Telephone: (613) 562 58 00 ext. 1561  
E-mail: dvuong@uottawa.ca



E-mail: dvuong@uottawa.ca