

COMPARACIÓN DE VARIOS MÉTODOS PARA LA REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA EN ZONAS ALTAS DEL ESTADO LARA

Jorge López Márquez¹, Javier Sánchez² y Rigoberto Andressen³

RESUMEN

Se compararon tres métodos cartográficos diferentes para la representación de aspectos climáticos (temperatura y precipitación) en zonas altas del estado Lara. Se usó conjuntamente A) Representación analógica (en papel), B) Mapas digitalizados de coberturas mediante el software para Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcInfo y C) Modelos numéricos interpolados mediante software de aplicación geoestadística (SURFER), empleando el modelo de interpolación Kriging lineal. La utilización de un software para SIG y para el manejo de bases de datos (SMBD FoxPro) permitió no sólo el mejoramiento de los mapas en cuanto a la georeferenciación y representación final, sino también en el manejo de los atributos para cada cobertura temática debidamente descrita mediante la base de datos digitalizada. Empleando la interpolación mediante el modelo Kriging lineal, se obtuvo la mejor representación tanto dentro del área de estudio como en sus alrededores. En cuanto a la confección de mapas usando este modelo se mejoró la interpolación de datos provenientes de estaciones dentro y fuera del área de estudio, y la cartografía de variables climáticas obtenida fue muy similar a los mapas elaborados por el método manual analógico. Al mismo tiempo en el caso del mapa de isotermas elaborado mediante el Kriging, se pudo precisar mejor la definición de pisos térmicos, además de significar un ahorro de tiempo considerable en el manejo de información y confección del mapa.

Palabras clave adicionales: Clima, cartografía

ABSTRACT

Comparison of cartographic methods for the representation of climatic aspects in highlands of Lara state, Venezuela

Three different cartographic methods were compared for the representation of climatic aspects (temperature and precipitation) in highlands of Lara state, Venezuela. The methods were: A) Analogical representation (on paper), B) Automatized covers by means of software of GIS (Arc Info), and C) Numerical models interpolated by means of software of geostatistics application (Surfer), using the interpolation model (Kriging). The use of GIS and Fox Pro program allowed not only to improve the final presentation and geo-referenciation, but also the management of attributes for each thematic feature. In terms of map confection the use of the Kriging interpolation model (lineal), improved the possibilities of interpolation of data among stations within the study area and surrounding areas. The maps of climatic variables were very similar to those elaborated by analogical methods. At the same time, the map of temperatures elaborated by Kriging improved the precision in the definition of thermal units. In addition, it represented a considerable saving of time in the management of information and map confection.

Additional key words: Climate, maps

INTRODUCCIÓN

Una de las formas de representar espacialmente la información físico natural se rige por métodos cartográficos tradicionales aplicados manualmente. Anteriormente los mapas o cartas analógicas sirvieron como soporte a datos y variables geográficas de índole físico-natural y socioeconómica, con limitada capacidad en el

procesamiento de información e inversión de gran cantidad de tiempo, lo que originó algunos inconvenientes en el manejo, análisis y actualización de la información espacial. Debido a esta situación se ha venido gestando a partir de los años 60 una nueva forma para el tratamiento de la información territorial, basada en la automatización de la misma mediante el uso de programas de elaboración cartográfica asistidos

Recibido: Junio 19, 2000

Aceptado: Febrero 19, 2001

¹ Dpto. de Ingeniería Agrícola, Decanato de Agronomía, Universidad Centrocidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela.

² Fundación para Desarrollo de la Región Centro Occidental (FUDECO). Av. Libertador, Barquisimeto. Venezuela.

³ Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes (ULA). Apdo. 221. Mérida. Venezuela.

por el computador. En este sentido el trabajo de Cochrane y Sánchez (1981) y más recientemente los de Betts y Derosé (1999) proponen la automatización de la información en busca de mejores resultados en el manejo, procesamiento y actualización de la misma.

Anteriormente, estas técnicas de representación automatizada de la información territorial no poseían la capacidad de apoyar el análisis para el manejo de la información espacial. Más tarde, cuando surgen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se da inicio a una tecnología informática para gestionar y analizar información espacial (Bosque, 1992).

Los SIG pueden ser definidos como una base de datos especializada, caracterizada por su capacidad de manejo de datos geográficos espacialmente referenciados, los cuales se pueden representar gráficamente como imágenes (Bosque, 1992). Específicamente la cartografía digital de los SIG propone el procesamiento de la información mediante un ordenador, lo que permite la representación gráfica de una gran variedad temática, susceptible de cálculos automáticos, portabilidad y almacenamiento.

Otros atributos con que cuenta la tecnología SIG, además de su capacidad para almacenar información, están relacionados con su aplicabilidad en diversos campos de investigación (inventario de recursos naturales, catastro urbano y rural, estudio de redes de transporte y comunicación, uso de la tierra, agroecología), su capacidad para facilitar el análisis de información, que requiere la interacción de datos estadísticos y cartográficos, la compatibilidad para el uso de información de satélites, el modelado cartográfico que incluye la creación de mapas tridimensionales y estereoscópicos y por último el monitoreo y seguimiento de los cambios en la información representada, con lo que se facilita su actualización. En opinión de Agmya y Hunter (1997), la rápida difusión de los SIG en años recientes ha facilitado y promovido el uso de información geográfica en la toma de decisiones.

Actualmente existe un gran número de software para Sistemas de Información Geográfica aplicables en las ciencias; sin embargo, no todos poseen las mismas características, por lo que la escogencia de uno de éstos debe responder a los objetivos de la investigación, a la disponibilidad de hardware y al conocimiento que el usuario

tenga respecto a las potencialidades del software.

En Venezuela, aunque la aplicación de esta tecnología es relativamente reciente, algunos organismos como el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, la CVG, PDVSA (PALMAVEN), algunas Universidades y Fundaciones regionales (FUDECO) cuentan con este tipo de software de representación digital para la información espacial.

Entre los SIG más conocidos destacan el Map-Info, Arc-info, el Idrisi, el Span, el Tigris, el Illwis y el Erdas, diferenciados principalmente por su capacidad para apoyar el análisis, la representación de la información espacial y el tipo de formato (Raster o Vectorial) con el que se maneja la información.

Los trabajos de Petit y Behn (1990) en Venezuela, Czaykoswsky y Martín (1997) en Argentina y Yang et al. (1999) en China, constituyen ejemplos de aplicación de varios tipos de SIG (Pc-Arc-info, Spans y Illwis) en el campo de las ciencias ambientales (vegetación, hidrología y clima); sin embargo, existen otras aplicaciones dentro del área catastral, urbanismo, edafología y agroecología.

Por otra parte, en el campo de aplicación agroclimática y más específicamente en la representación espacial de variables climáticas tales como precipitación y temperatura, importantes en la delimitación de usos agrícolas, la baja densidad de estaciones climatológicas en el área de estudio, la influencia de la orografía y la orientación de las vertientes (básicamente sobre la precipitación) le impone al proceso de interpolación tradicional de variables de distribución "continua", generalmente levantada mediante instrumentación distribuida de manera "discreta"; limitantes que dificultan la elaboración acertada de la cartografía climática. Por esta razón, en la actualidad se hace necesario el uso de los métodos geoestadísticos en el mejoramiento de los procesos de interpolación de las mencionadas variables.

En el presente estudio se utilizó el PC Arc/Info (ESRI) y el software Surfer (Golden Software), debido a su capacidad para apoyar el análisis de fenómenos con relativa variabilidad espacial (clima) y a la calidad y facilidad de entendimiento y representación de su cartografía (Burrough, 1988).

Los objetivos del trabajo incluyeron la representación y comparación visual de métodos analógicos, representados en formato digital mediante un sistema de información geográfico y un mapa elaborado mediante el uso de un interpolador geoestadístico, con la finalidad de comprobar la utilidad de estos interpoladores y especialmente la interpolación Kriging en la representación de información climática en regiones montañosas

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo tuvo como área de estudio, la zona sur del estado Lara, en una región que comprende 91.120 ha, correspondientes a una sección de las estribaciones finales de la cordillera andina. Este paisaje montañoso de filas y cerros con altitud variable, está orientado en sentido suroeste / noreste e incluye parte de las cuencas de los ríos Yacambú, Turbio y Tocuyo.

En esta zona montañoso se aplicaron y compararon métodos cartográficos analógicos y automatizados apoyados por un modelo de interpolación (Kriging), en la representación de variables climáticas (temperatura y precipitación). El mapa analógico para cada variable fue digitalizado mediante el uso de un Sistema de Información Geográfico, con el fin de facilitar la comparación con los mapas hechos mediante el software de aplicación geoestadística Surfer. El procedimiento fue el siguiente:

A. Para la representación analógica (en papel) de la información climática en forma manual se utilizaron las cartas topográficas de Cartografía Nacional a escala 1:100000. Dicha información incluye los mapas de isoyetas e isotermas el mapa de isoyetas se elaboró mediante interpolación lineal entre pares de estaciones cercanas y el mapa de isotermas se hizo sobre la base del gradiente altitudinal calculado para la zona, lo cual permitió la correlación entre curvas de nivel en el plano topográfico y las isolíneas de temperatura calculadas cada 3° C.

Los registros climáticos tomados en cuenta para la elaboración de la base de datos del mapa de isoyetas e isotermas incluyen un total de 24 y 4 estaciones en forma respectiva. El Cuadro 1 muestra los registros de lluvia (altitud, período de registro y serial de la estación a la que pertenece) y las estaciones registradoras de temperatura.

B. Para la representación en forma digital se procedió a la automatización de la información climática presentada por López (1996) en base a los datos mostrados en el Cuadro 1, correspondientes a 20 años de registro. Se transformaron los mapas de isoyetas e isotermas del formato analógico (mapa de papel) hasta el formato digital como una imagen en el computador. Esta fase de trabajo se hizo mediante la utilización del Arc/Info 3.5, según las siguientes etapas:

- Digitalización de la información básica (vialidad, curvas de nivel, red de drenaje y centros poblados) y la información climática, mediante la utilización de una mesa digitalizadora, dentro del módulo ADS del SIG Arc-Info.

- Corrección de coberturas digitalizadas mediante los comandos "Clean" y "Build" de Arc-Info, y georeferenciación de coberturas con base a un sistema de coordenada UTM.

- Ampliación de una base de datos de objetos georeferenciados de las coberturas climáticas, mediante el software FoxPro. Dicha base incluyó la descripción de los atributos de cada unidad en cada mapa respectivo, donde las coberturas mencionadas en este caso estaban relacionadas con la información espacial de cada mapa temático.

C. Para la elaboración de los mapas de isoyetas e isotermas mediante métodos de interpolación geoestadísticos, se utilizó el programa de interpolación software Surfer, y se probó con diferentes métodos de cuadrícula y modelos de variograma. Dicho programa permitió la interpolación automatizada de isolíneas de lluvia y temperatura. En ambos casos, se utilizó el interpolador Kriging en la opción lineal con cuadrículas de 500 x 500 m. Para el mapa de isoyetas se anexaron a la base de datos climáticos los registros de las estaciones Acarigua (serial 2264), Guache (serial 2253) y Sarare (serial 2229) y se usó la opción de anisotropía (Surfer) para incluir la influencia de la orientación de la orografía en la distribución de la lluvia.

En el caso de las isotermas se usó como base el mapa de curvas de nivel previamente digitalizado. Esta cobertura de líneas de altura se transformó en un modelo digital de terreno con puntos representativos de coordenadas UTM (norte, oeste) en cada cuadrícula, los cuales sirvieron de base a la interpolación del mencionado mapa. El

gradiente altotérmico se aplicó para interpolar entre valores de temperatura (estaciones climáticas) tomando valores de altura promediados en cada cuadrícula.

Cuadro 1. Datos pluviométricos de las estaciones en el área de estudio durante los años 1975-1994.

| Estación | Serial | Altitud (msnm) | Lluvia media anual (mm) |
|--------------------------|--------|----------------|-------------------------|
| Agua Negra | 1220 | 1560 | 1103 |
| Las Tablas | 1221 | 1330 | 952 |
| El Zancudo | 1222 | 1355 | 1376 |
| Sabana Grande-Guaco | 2139 | 1388 | 1603 |
| Quíbor * | 2204 | 682 | 483 |
| Río Claro | 2205 | 945 | 1200 |
| San Miguel | 2215 | 1097 | 580 |
| Miracuy | 2219 | 1161 | 2190 |
| Cruz Machadera | 2221 | 1845 | 1906 |
| Cubiro * | 2225 | 1902 | 963 |
| Capilla Bucaral | 2226 | 1050 | 1789 |
| Paso Angostura * | 2227 | 790 | 1999 |
| Caspito | 2231 | 1300 | 1690 |
| Parque Yacambú | 2232 | 1484 | 2168 |
| La Cruz | 2233 | 1200 | 2337 |
| Sanare | 2234 | 1330 | 851 |
| Riecito | 2237 | 1280 | 1615 |
| Humocaró Bajo | 2241 | 941 | 722 |
| Guarico | 2245 | 1117 | 1034 |
| Humocaró Alto-Vivero | 2251 | 950 | 851 |
| La Mesa | 2252 | 1195 | 1050 |
| El Tocuyo-Dos Cerritos * | 2268 | 694 | 582 |
| Las Cumbres | 2287 | 1589 | 1934 |
| Las Delicias | 2288 | 1465 | 2412 |

Fuente: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables

* Estaciones con registro de temperatura

Para la comparación de los mapas elaborados se hizo una superposición simultánea de los mapas temáticos.

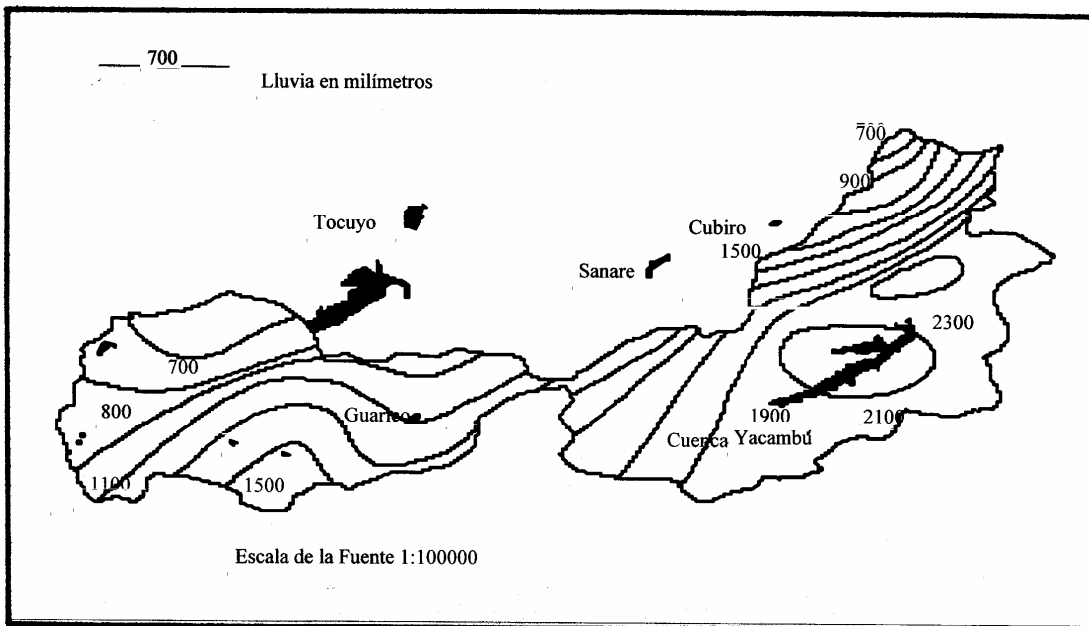
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Cartografía analógica (manual)

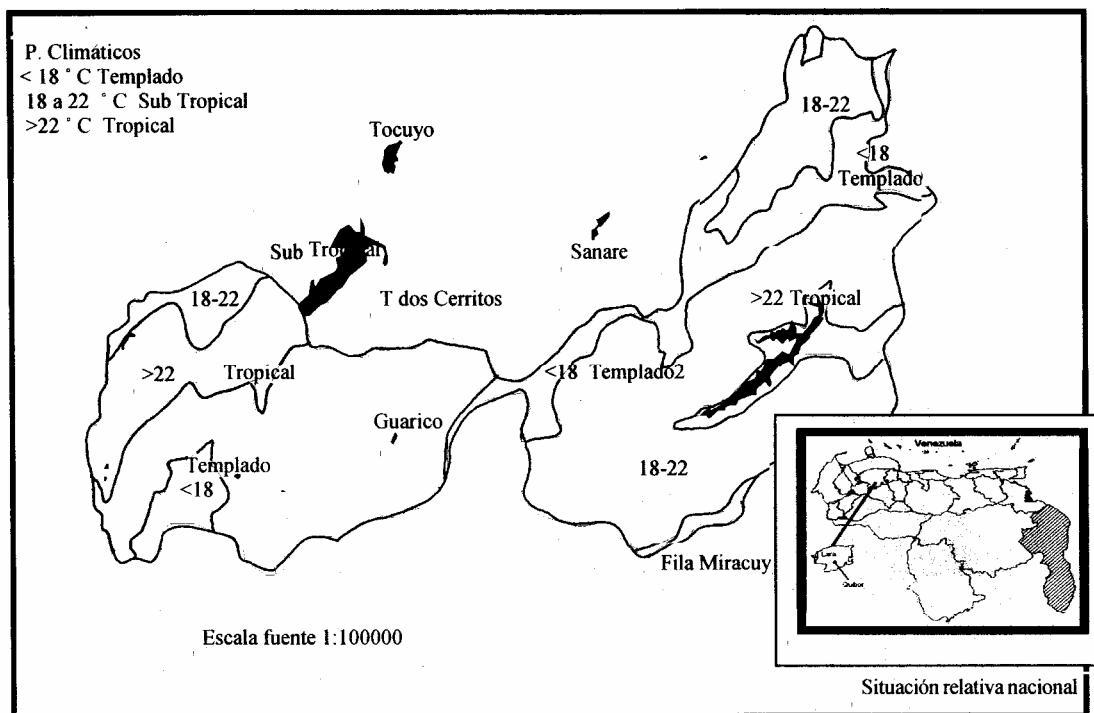
Se pudo apreciar la mayor cantidad de estaciones pluviométricas en relación a los escasos registros de temperatura. Esta situación es común no sólo en el ámbito del área de estudio, sino en la totalidad del sistema de registro climático nacional. Debido a esta situación el análisis de la variación altitudinal de la temperatura en sectores montañosos se dificultó considerablemente y en este caso el mapa analógico de isotermas (pisos térmicos), elaborado manualmente a través de interpolación lineal, presentó severas limitaciones para su confección.

Si a esto se le suma la influencia de la topografía y la exposición de las vertientes a masas de aire con distintas características termodinámicas, se aprecia la complejidad del proceso de representación espacial de la temperatura en zonas montañosas.

El mapa analógico de isoyetas elaborado de la misma manera, por interpolación lineal, resultó complejo en cuanto a su trazado, debido al efecto topográfico y exposición de vertientes a los vientos en la zona. Esta afirmación guarda estrecha relación con la apreciación de Smith et al. (1991), acerca de la comprensión del paisaje mediante el empleo de dos métodos conjuntos; el basado en estaciones climatológicas y el que analiza la topografía y vegetación. El mapa analógico posteriormente automatizado (Mapa 1) requiere el criterio de experto para definir la acción del relieve sobre la precipitación.



Mapa 1. Isoyetas medias anuales (elaboradas por interpolación manual, representadas en Arc Info) de la zona sur del estado Lara.



Mapa 2. Isotermas medias anuales (elaboradas por interpolación manual, representadas en Arc Info) de la zona sur del estado Lara

B. Cartografía automatizada

Los mapas 1 y 2 son el resultado de la digitalización de los mapas analógicos de isoyetas e isotermas, cada uno contiene líneas y polígonos digitalizados bajo la estructura arco-nodo. Ambos mapas, digitalizados, incluyen coberturas poligonales derivadas de isolíneas obtenidas de valores puntuales de temperatura y precipitación.

Cada unidad resultante dentro de las coberturas de precipitación y temperatura posee además una base de datos, en ficheros o celdas preestablecidas por el generador de base de datos Fox-Pro.

En los Cuadros 2 y 3 se presenta detalladamente la descripción de la base de datos de cada cobertura. Cada cuadro incluye el nombre de la cobertura, el tipo de variable representada (carácter o numérica) y la descripción temática asociada a cada unidad. Aunque el proceso de georeferenciación para cada cobertura fue un proceso relativamente laborioso, es de destacar que el mismo permitió la consulta rápida de atributos (altitud, piso térmico, tipo de cobertura) en cada mapa y la integración de información de distinta naturaleza en unidades integradas donde se superponga más de una cobertura (bioclimas, topoclimas, mapas edafoclimáticos).

Cuadro 2. Base de datos: Precipitación de la zona sur del estado Lara.

| Variable: Franja isoyética (cobertura de polígono) | | |
|--|------|---------------------------|
| Nombre del campo | Tipo | Descripción |
| Rangos de lluvia | C | Precipitación media anual |
| Humedad | C | Provincias de humedad |

C: carácter

Cuadro 3. Base de datos: Temperatura de la zona sur del estado Lara.

| Variable: Franja isotérmica (cobertura de polígono) | | |
|---|------|----------------------------------|
| Nombre del campo | Tipo | Descripción |
| Rangos de temperatura | C | Valores de temperatura |
| Piso Térmico | C | Tropical, Subtropical y templado |
| Altitud | N | En msnm |
| Gradiente | C | Variación de temperatura/altitud |

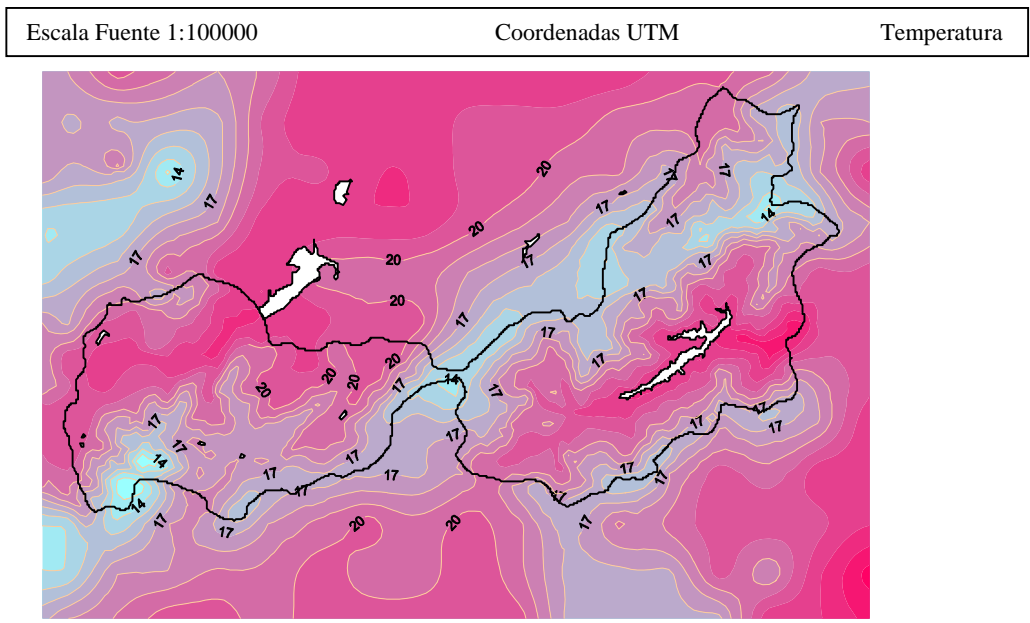
C: carácter N: numérico

C. Cartografía climática mediante métodos geoestadísticos

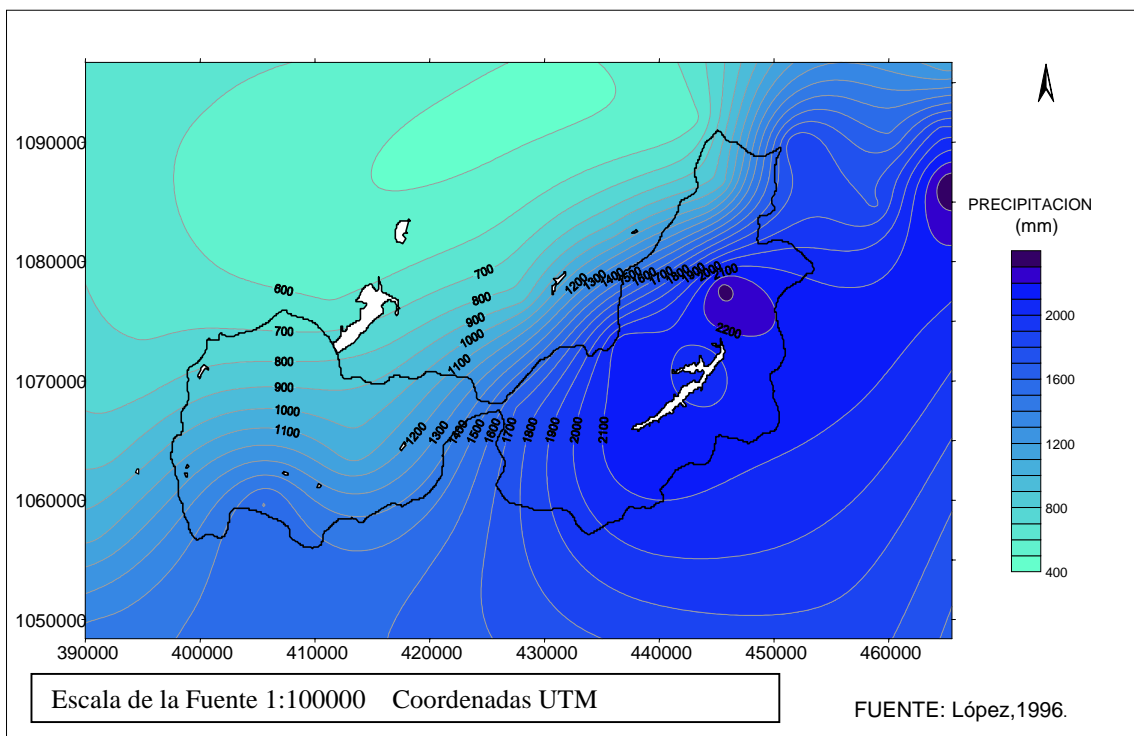
Luego de aplicar varias opciones del método de interpolación Surfer y comparar los resultados (superposición de mapas) con el mapa analógico hecho con el criterio de juicio de experto, se aprecia que el programa automatizado (Surfer) amplía la posibilidad de interpolar mediante diferentes métodos de cuadrícula (Kriging, inverso de la distancia al cuadrado, regresión polinomial) y modelos de variograma (lineal, cuadrática, exponencial).

La comparación visual de los mapas de isoyetas hechos en formato analógico y en formato digital mediante métodos geoestadísticos de interpolación mostró una similitud considerable en lo que respecta a la dirección y el sentido en que se trazaron las isolíneas de precipitación. En lo que se refiere a los mapas de isotermas, se aprecia la mayor complejidad en el mapa hecho bajo el método Kriging (Mapas 3 y 4) y existe un mayor número de isotermas que en el mapa analógico de temperatura. En términos de precisión en el trazado y continuidad de las isolíneas de temperatura y los polígonos de pisos térmicos, el método Kriging permitió el mejoramiento de los resultados obtenidos, gracias a la elaboración de un modelo digital de terreno, el cual permitió interpolar los valores climáticos de temperatura con apoyo de un número considerable de puntos de altitud dentro del área de trabajo. Sin embargo, en este estudio y específicamente para la elaboración del mapa de isotermas, esta afirmación es válida tomando en consideración únicamente el gradiente altotérmico y excluyendo del análisis climático la influencia de la situación termodinámica en cada vertiente dentro del área de estudio.

El mapa de isoyetas basado únicamente en la interpolación de valores pluviométricos (estaciones), presenta errores ya que según Smith et al. (1991) no toma el efecto topográfico en sentido alguno. Sin embargo, en este caso la aplicación de la opción de anisotropía del interpolador Surfer permitió incluir la influencia de la orientación de la orografía en la distribución de las lluvias.



Mapa 3. Isotermas medias anuales, modelo digital de isotermas medias calculado con base en gradientes altitudinales y mod. dig de terreno



Mapa 4. Isoyetas medias anuales (Kriging Lineal)

La elaboración de este tipo de trabajo para el área que corresponde al estado Lara reviste gran importancia debido a que el mismo incluyó el proceso de análisis y actualización de la información climática básica de la zona, así como el mejor uso de metodologías cartográficas de representación, lo que servirá para perfeccionar la planificación de las actividades agrícolas relacionadas con el factor climático (López, 1996).

Por último, la utilización de técnicas automatizadas para la representación de la información producida y el uso de algunos métodos estadísticos y geoestadísticos mostraron una forma para concebir el análisis de la información espacial en zonas montañosas

CONCLUSIONES

El mayor detalle en la trama de isolíneas de temperatura en el mapa Kriging, respondió directamente al apoyo en un modelo digital de terreno, derivado de la transformación de la cobertura de curvas de nivel a puntos UTM (sistema de coordenadas). Por lo tanto, se podría adoptar este método para mejorar el trazado de isoterms a relieve en los casos en que el número de registros climáticos sea insuficiente.

Se pudo apreciar la similitud de los mapas de isoyetas, hechos por los métodos analógicos y geoestadísticos; sin embargo, se dio mejor dicha condición cuando se incluyeron estaciones periféricas, fuera del área de estudio y se usó la opción de anisotropía de Surfer para la confección del mapa Kriging.

Finalmente, las opciones de Surfer para control de anisotropía y utilización de interpolación curvilínea aplicadas en este trabajo podrían significar mejoras en la confección de los mapas climáticos y especialmente el mapa de lluvia.

LITERATURA CITADA

1. Agumya, A. y G. Hunter. 1997. Determining fitness for use in geographic information. ITC Journal 2:109-113.

2. Betts, H. y R. Derose. 1999. Digital elevation models as a tool for monitoring and measuring gully erosion. International J. Applied Earth Observ. and Geoinformation 1(2):91-100.
3. Bosque, S, J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Ediciones Rialp. Madrid.
4. Burrough, P. 1988. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon press. Oxford.
5. Cochrane, T y L. Sánchez. 1981. Clima, paisaje y suelos de las sabanas tropicales de Suramérica. Interciencia. 6 (4): 239-244.
6. Czaykoswsky J. e I. Martín. 1997. Regionalización bioclimática de Argentina mediante el uso de técnicas multivariadas y SIG. Sexto Encuentro de Geógrafos de América Latina. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Resúmenes pp. 287.
7. López, J. 1996. Caracterización climática de la zona sur del estado Lara. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Trabajo de ascenso. Barquisimeto. 70 p
8. Petit, P. y V. Behn. 1990. El SIG y la ocupación del espacio. Segundo Congreso Venezolano de Geografía. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.
9. Smith, R., M. Lluveres, L. Aristiguieta y H. Agar. 1991. Vegetación de la región capital. Ecología del Estado Lara. Biollania Nro 1. Barquisimeto. s/p.
10. Yang, X., M. Damen y R. VanZuidan. 1999. Satellite remote sensing and GIS for the analysis of channel migration changes in the Yellow river delta, China. International Journal of Applied Earth Observ. and Geoinformation 1(2):146-157.