

## USO ACTUAL DE MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN INCLUYENDO PLATAFORMAS SIG

Fernando Guerra<sup>1</sup>, Heriberto Gómez<sup>2</sup>, Julio González<sup>3</sup> y Zahylis Zambrano<sup>4</sup>

*Universidad de Los Andes, ULA Táchira, Departamento de Ciencias Sociales, Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (LABSIG)*

*Recibido: diciembre 2005*

*Aceptado: abril 2006*

### Resumen

El papel de la precipitación como elemento que define las condiciones climáticas de un área cualquiera es incuestionable. Los datos de precipitación obtenidos por instrumentos requieren, sin embargo, tratamientos específicos a objetos de hacerlos más confiables. Diversas técnicas se han desarrollado a través del tiempo para procesar esta variable climática. En este trabajo una revisión exhaustiva permite sugerir que la geoestadística, basada en plataformas computacionales como los SIG, es una buena alternativa para los estudios de la precipitación y su comportamiento.

**Palabras claves:** Precipitación, Geoestadística, Sistemas de Información Geográfica.

### CURRENT USE OF METHODS AND TECHNIQUES IN THE STUDY OF PRECIPITATION BASED ON SIG PLATFORMS

#### Abstract

The roll of the precipitation as an element that defines the climatic conditions of an area is unquestionable. Nevertheless, the data of precipitation collected by instruments require specific treatments in order to make them more reliable. Diverse techniques have been developed through the time to process this climatic variable. In this work an exhaustive revision allows to suggest that geoestadistic, based on platforms as the SIG, is an adequate alternative for the studies of the precipitation.

**Keywords:** Precipitation, Geoestatistic, Geographic Information System

### 1. Introducción

La precipitación es uno de los elementos definidores del clima de cualquier punto o área de la superficie terrestre. Al igual que los demás elementos del clima (temperatura, presión atmosférica, vientos, etc.) su estudio se realiza en base a los datos meteorológicos medidos por instrumentos específicos ubicados en diversos puntos o estaciones bajo responsabilidad de organismos estatales, institutos o empresas que necesitan o se relacionan con el manejo y utilización de la información climática e hidroclimática.

---

<sup>1</sup> Geógrafo. Profesor de climatología adscrito al Departamento de Cs. Sociales ULA Táchira. Email: fguerra@ula.ve

<sup>2</sup> Geógrafo. PhD en Geografía. Coord. del Laboratorio SIG adscrito al Departamento de Cs. Sociales ULA Táchira. Email: hgomez@ula.ve

<sup>3</sup> Ing. Forestal. Magíster en Suelos. Profesor adscrito al Departamento de Cs. Sociales ULA Táchira. Email: jtovar@ula.ve

<sup>4</sup> Bióloga. Profesora adscrita al Departamento de Cs. Sociales ULA Táchira. Email: zahylzam@ula.ve

Los datos sobre precipitación para un área varían normalmente tanto a nivel temporal como espacialmente por influencia de diversas condiciones naturales terrestres y atmosféricas propias de cada lugar así como por los ritmos impuestos por la dinámica astronómica planetaria. Es reconocido ampliamente que la variabilidad de la precipitación, así como la de la mayoría de las variables naturales, puede ser analizada estadísticamente a partir de los datos recolectados (muestras) para un punto determinado durante largos períodos de observación (decenas de años) y que los valores o medidas obtenidas permiten caracterizar, con algún margen de incertidumbre, el comportamiento general de dicha variable. Sin embargo, cada propiedad, característica o variable natural presenta, según su naturaleza, condiciones específicas que deben considerarse al momento de analizar su variabilidad o comportamiento.

## 2. Premisas básicas

Cuadrat y Pita (1977) y Sánchez (1999), consideran que, desde el punto de vista metodológico, las observaciones pluviométricas se diferencian de las termométricas (y de muchas otras variables espaciales) fundamentalmente, en el hecho de que las precipitaciones son discontinuas en el espacio y en el tiempo. Esta característica determina, en principio, que su análisis y tratamiento estadístico debe hacerse con métodos y técnicas aplicables a variables de este tipo. Al respecto, los mismos autores establecen que esta consideración es básica en el estudio estadístico de las características de la precipitación, las cuales tradicionalmente se han basado en la determinación de los promedios, variabilidad, irregularidades, tendencias, frecuencias e intensidad para distintos períodos de tiempo.

Particularmente, en los casos de análisis estadísticos de la precipitación a partir de los valores medios, Sánchez (1999) advierte que, en general, cuando las precipitaciones son abundantes, el promedio mensual para un período suficientemente largo puede ajustarse a una curva de distribución normal y en consecuencia el valor medio tiene significación. Sin embargo, para las regiones áridas, lo común es que las mayores frecuencias estén en las precipitaciones pequeñas y que las precipitaciones altas sean muy pocas, lo cual determina que, en este caso, el valor medio tenga menos significación.

Las técnicas estadísticas normalmente utilizadas en Climatología e Hidrología han permitido describir el comportamiento de la precipitación, sin embargo, algunas de ellas, como se ha demostrado, no reflejan la situación o condición real en que se manifiesta esta variable. En relación a ello, varios son los planteamientos que se hacen cuando autores, como Gil y Olcina (1997) y Cuadrat y Pita (1977), reconocen que, por ejemplo, el cálculo de irregularidades y de las medias adolece de ciertas deficiencias al tomar en cuenta los valores extremos según sea el caso. Para ello recomiendan considerar la mediana en vez de la media para el análisis de la variabilidad temporal de la precipitación, u otras medidas estadísticas más apropiadas tales como la desviación típica, la desviación media o el coeficiente de variación. Lógicamente, cada caso necesita ser considerado en su condición particular ya que los mismos dependen, entre otras variables, de las condiciones de medición, de los tipos y cantidad de datos disponibles y de los objetivos de la investigación.

En este sentido, es importante dejar claro que, tal como lo plantean diversos autores (Guevara, (1987), Linsley, Kohler y Paulhus, (1977), Cuadrat y Pita, (1997)), la precipitación es uno de los elementos del clima más difícil de medir con exactitud, debido

a las diversas condiciones en que se presenta este proceso y su medición, lo que conlleva a cierto margen de error en sus estimaciones, sin embargo, cuando se promedia información de varios observatorios de una misma área el resultado es aceptable estadísticamente y tiene muchas aplicaciones prácticas.

### **3. Análisis de datos climáticos: una revisión de casos**

La literatura existente sobre métodos y técnicas estadísticas utilizadas en el análisis de datos climáticos, en forma general, es amplia y detallada en cuanto a las múltiples aplicaciones que tiene esta rama de la matemáticas en los campos meteorológicos, climáticos e hidrológicos, campos estos donde se ha producido la mayor cantidad de aportes en esta materia. Igualmente ocurre con el tratamiento estadístico particular de la información pluviométrica.

Al respecto, también debe mencionarse que la mayor proporción de información publicada en cuanto a este aspecto se relaciona con el campo aplicado, conocidas las diversas y complejas influencias que la precipitación tiene en los diferentes procesos naturales y en las actividades humanas, destacando entre otros: análisis climáticos a diferentes escalas, estudios hidrológicos con diferentes fines, estudios de erosión de suelos, diseños de redes de drenaje, obras de ingeniería, relaciones clima – cultivos o agroclimáticos; y más recientemente, el enorme auge que han tomado los estudios sobre riesgos hidroclimáticos y la elaboración de modelos de simulación hidrológica.

Los trabajos publicados sobre análisis estadístico en Climatología e Hidrología están enfocados a explicar la utilización y adaptación de las principales técnicas y métodos de tratamiento de datos muestrales al análisis de los parámetros climáticos partiendo, como se mencionó anteriormente, de las características de cada variable en cuanto a su naturaleza y distribución espacial y temporal.

En este sentido, Guevara (1987), hace una recopilación de los métodos de estimación y ajuste de datos climáticos de mayor uso en este campo, aplicables a una o más de las variables climáticas. En base a este trabajo se puede establecer, en forma general, que el análisis y estimación de datos climáticos se relaciona con la estimación directa de un valor por métodos descriptivos de posición o centralización, medidas de variabilidad, así como también, se pueden hacer estimaciones en base a la interpolación a partir de mapas y por la correlación existente entre las diversas variables climáticas o entre datos de diversas estaciones. Para el análisis de ajuste de datos climáticos normalmente se recurre a los métodos de correlación y regresión, entre otros.

Perdomo y Perdomo (1979), engloban en su trabajo, como parte de los estudios estadísticos en climatología, el análisis previo de la información climatológica y de la red de estaciones, considerando que las series temporales de datos normalmente presentan errores en la toma de los datos, o ausencia de éstos, y que en la estimación por interpolación debe manejarse información en cuanto a conformación de la red de estaciones. Igualmente, se describen las técnicas para extensión de las series temporales de datos, para verificación de la homogeneidad o aleatoriedad de las series y para la selección de una estación piloto. En cuanto a los métodos de estimación y ajuste se exponen las técnicas tradicionalmente utilizados en base a promedios, interpolación lineal, doble ploteo de masas, cocientes y

mediante regresión simple, así como el uso de medidas de variabilidad. Se incluyen también referencias importantes con respecto a la aplicación del análisis de frecuencia y de probabilidades en el campo de estudio de la información climática.

Ebdon (1982) hace una revisión de los diferentes métodos estadísticos creados o ajustados al campo de la Geografía dada la particular estructura de distribución espacial que tienen los hechos y variables naturales estudiados en este campo. Al respecto, el autor, además de revisar los diferentes aspectos que tienen que ver con la adaptación de de las diferentes técnicas y métodos estadísticos al análisis de información geográfica, dedica un capítulo a la estadística espacial considerando que el estudio de los fenómenos geográficos implica el manejo de información de tipo lineal, puntual y areal y que a partir de ella se puede lograr el análisis de diferentes características de los fenómenos como son: tendencia central, dispersión, forma, estructura y relaciones espaciales. En relación a esta última característica, es importante destacar la aplicación de la autocorrelación espacial para datos puntuales como uno de los métodos para el estudio de las relaciones espaciales entre datos consecutivos medidos a una variable.

#### **4. Geoestadística: una alternativa**

El mayor conocimiento de la variabilidad en la distribución espacial de las características naturales conjuntamente con los avances en la aplicación de la estadística a la recolección, organización, descripción y análisis de datos muestrales ha permitido mejorar las técnicas de estimación, ajuste y simulación del comportamiento de estas variables, lo cual, junto al análisis de probabilidades, ha dado origen a una rama especializada de la estadística denominada Geoestadística.

La geoestadística se define como la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio (Journel y Huijbrets (1978) y Chauvet (1994), citados por Cuador (2005). El punto de partida de esta concepción es considerar, tal como lo expresa Perdomo y Perdomo (1979), que la información obtenida a partir del análisis estadístico de una serie de datos climáticos es variable y en consecuencia de carácter aleatorio o estocástico, es decir, en Climatología es difícil estimar con absoluta precisión el valor que puede tomar el dato deseado, pero se puede determinar con un nivel de certeza cuál valor puede tomar o un rango en el cual este valor debe encontrarse, por ello tienen los valores de la variable una estructura probabilística de carácter aleatorio.

Las variables que asumen valores cuantitativos y que se ajustan a una distribución de probabilidad conocida se definen como variables aleatorias y pueden ser de tipo discreto o continuo (Canavos, 1988). Según este mismo autor, dentro de las variables aleatorias continuas que se ajustan claramente a una distribución de probabilidad de tipo normal se encuentran las variables meteorológicas, y dentro de ellas, la precipitación pluvial ha sido tradicionalmente tratada, para efectos de análisis de su distribución, bajo el enfoque de que su variabilidad tanto temporal como espacial, para largos periodos de observación, se ajustan según una curva de distribución normal.

Entendiendo, como se ha mencionado, que las variables que tienen una distribución espacial y temporal se pueden tratar como variables aleatorias, se espera que, utilizando

técnicas estadísticas y análisis de probabilidades, se puede estimar, con un margen dado de error, el valor que puede asumir una variable para una localización conocida. A estas variables que tienen como característica un valor dado, pero que además, ocupan una posición en el espacio se les conocen, en el campo geoestadístico, como variables aleatorias regionalizadas (Matheron (1970) citado por Cuador (2000)) y sus valores pueden considerarse como variables aleatorias con una función de distribución que puede ser estimada. La técnica estadística de estimación consiste en estudiar, en base a datos ya existentes, cómo es la continuidad espacial de las variables y determinar su función de correlación espacial (semivariograma). Conocida la función de distribución espacial de cada variable es necesario escoger el modelo teórico que mejor explique tal distribución para, a partir de él, estimar los valores que asumirán las variables en cada lugar donde la misma se realice.

Para Isaaks y Srivastava (1989), citado por Martínez (1995), las ventajas que se derivan del uso de técnicas geoestadísticas, con respecto a otros métodos de interpolación, en el análisis de la distribución espacial de una variable natural podrían resumirse en los siguientes aspectos: 1) los pesos de ponderación dados a los valores medios no son arbitrarios sino que dependen de la variabilidad espacial observada; 2) la interpolación de la variable en un punto de medida devuelve el valor medio en ese punto, con un error de estimación nulo; y 3) la incertidumbre de las estimas se puede cuantificar.

El estimador que posee estas características se denomina Krigeage (kriging) y según Cuador (2005), el mismo tiene como objetivo encontrar la mejor estimación posible a partir de la información disponible acompañada de la varianza de krigeage como medida del error de la estimación realizada, lo que distingue al krigeage de otros métodos de interpolación.

Según Vanderlinden (2003), los pasos a seguir para hacer un estudio geoestadístico se pueden resumir de la manera siguiente:

1. Análisis exploratorio de datos: consiste en hacer un estudio de los datos a fin de verificar su exactitud y representatividad. Se realiza un análisis descriptivo de los datos de manera que se cumplan las hipótesis de la geoestadística, esto es, verificar que los datos se ajusten a una distribución normal, que exista estacionaridad y que las muestras no tengan valores extremos y pertenezcan a una misma población.

2. Análisis estructural o variográfico: cumplidas las condiciones anteriores se procede a calcular el semivariograma experimental y al ajuste de éste a un modelo teórico conocido. El semivariograma experimental se obtiene con los datos de muestra e indica el modelo de distribución espacial de la variable a partir de la correlación espacial entre los datos medidos en el área o región. El modelo teórico son las diversas formas en que se pueden distribuir los datos cuando se cumplen las hipótesis de la geoestadística y señalan los principales parámetros de la distribución, es decir: si hay efecto pepita (Nugget), la meseta y el alcance.

3. Interpolación o estimación espacial (Kriging): consiste en estimar el valor que asume la variable de estudio para diferentes puntos dentro de la región, en base al semivariograma que define la correlación espacial existente entre los valores muestrales.

4. Validación del modelo geoestadístico: obtenida la estimación de los datos para cualquier punto dentro de la región se realiza la validación. Para ello se eliminan los datos a partir de los cuales se calculó el semivariograma y se procede a estimar los valores que asume la variable para esos puntos según el modelo de semivariograma utilizado. De esta manera se obtienen los valores para esos puntos y su correspondiente error de estimación.

La utilización del Kriging como técnica para estimación de datos pluviométricos en áreas con escasez de estaciones o de difícil accesibilidad se ha convertido en una herramienta útil para el investigador. Asimismo, se ha experimentado para áreas con densidades de cobertura relativamente homogéneas a efectos de medir su nivel de confianza como método de estimación o para efectos de comparación con otros métodos de interpolación, convirtiéndose, en la mayoría de los casos, en la herramienta más adecuada para este tipo de análisis.

Una breve recopilación de la aplicación del Kriging al análisis de la variable precipitación demuestra su amplio rango de uso tanto para los diferentes parámetros de un mismo fenómeno, así como para más de una variable relacionadas entre si. De allí es que han surgido las diversas modalidades de Kriging que se han desarrollado hasta la fecha, hablándose hoy en día, entre otros, de Kriging lineal, Kriging multivariado y Kriging no lineal, existiendo dentro de ellos diversas modalidades según las características de la variable en estudio. Se habla entonces de Kriging ordinario, Kriging Universal, Kriging estratificado, Kriging simple, Kriging con deriva externa, CoKriging, y otras modalidades (Rondón (s.f.)).

Entre los ejemplos de estas modalidades de Kriging aplicados al estudio de la precipitación se pueden citar: Estudios sobre distribución de la precipitación para Colombia utilizando Kriging Universal (Romero y Triana (2005), Interpolación espacial de medias anuales de precipitación utilizando Kriging Universal (Kastelec y Kosmelj (2002)); generación de mapas de isoyetas para el sur del Estado Aragua-Venezuela utilizando Kriging con Tendencia Externa (Demey y Pradere (1995)); definición de patrones homogéneos de distribución de la pluviosidad para los llanos centrales de Venezuela mediante Kriging Factorial (Pradere (1999)); comparación de varios métodos para la representación cartográfica de información climática en zonas altas del Estado Lara –Venezuela utilizando Kriging Lineal (López, Sánchez y Andressen (2001); aplicación de datos de precipitación radar a la estimación del campo de precipitaciones con fines climatológicos, empleando Kriging ordinario (Chazarra, López y Aguado (2005); Mapa de isoyetas de precipitación para la cuenca alta del río Guárico por kriging ordinario (Primera, Vitoria y Puche (s.f.); son algunos de los ejemplos acerca de la aplicación del estimador Kriging como método estadístico de interpolación apropiado para estimar confiablemente valores de precipitación en áreas desprovistas de datos, así como para conocer la distribución espacial y temporal de las mismas y el análisis de su representación gráfica espacial.

Asimismo, la estimación de valores de precipitación media anual, mensual y diaria para periodos normales (30 o más años), ha sido eficientemente tratada con diferentes modelos de kriging (Kravchenko, Zhang y Koung Tung (1996), Mirás y Paz (2003)), obteniéndose resultados satisfactorios tanto directamente como por comparación entre varios modelos, seleccionando entre ellos el que menor error de estimación produzca en los resultados.

Los estudios de estimación de datos de precipitación por diferentes métodos de interpolación, tanto para áreas con información como para sectores con escasa información, ha sido comparada en diversos estudios y, en la mayoría de los casos, tal como ya se mencionó, la estimación por Kriging ha producido las mejores estimaciones y los errores más bajos que otros métodos como: polígonos de Thiessen, inverso de la distancia, triangulación, interpolación lineal, etc., considerados éstos, los métodos más utilizados para interpolación de datos de precipitación. Entre los trabajos consultados Nokolova y Vassilev (s.f.), Goovaerts, P. (1999), Almarza y Luna (s.f.), Ceballos (s.f.)) presentan experiencias de estudios donde, utilizando varios métodos de interpolación, concluyen que el Kriging estima los valores de precipitación más cercanos a los valores reales.

##### **5. Sistemas de información geográfica: una plataforma para geoestadísticos**

El uso de técnicas geoestadísticas de este tipo, gracias al soporte de diversos software para procesamiento automatizado así como de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ha convertido hoy en día en una herramienta de gran capacidad y aplicabilidad para el estudio de variables espaciales, tal como se desprende de la recopilación de los diferentes trabajos realizados en esta área de investigación. Existen en el mercado, y también se pueden disponer libremente por la red (World Wide Web), una diversidad de programas diseñados para procesar, estimar y simular geoestadísticamente bases de datos en diferentes campos tales como: minería, industria petrolífera, geología, meteorología, climatología, cartografía de suelos-edafología, hidrología, hidrogeología, silvicultura, ecología, patología vegetal, entomología, salud pública y otros. Entre los programas informáticos más utilizados se pueden mencionar: Geo-EAS, GSLIB, GSTAT, VARIOWIN, VESPER, R+, SADA, WINGSLIB, IDRISI, SURFER, ARCGIS GEOSTATISTICAL ANALIST, entre otros (Vanderlinden, (2003)).

En este mismo orden, la aplicación de kriging en sus diferentes modalidades ha estado acompañada, cada vez con mayor auge, por diferentes soportes o herramientas de análisis tales como: modelos de elevación digital, imágenes de satélite, redes neurales artificiales y radar (Daly, Neilson y Phillips (1993), Todini, E. (2001), Karamouz, Zahraie y Shahraki (s.f.), Matsoukas, Islam y Kothari (1998)), lo cual ha permitido mejorar la representación espacial del fenómeno en estudio y aumentar los niveles de confianza en las estimaciones realizadas. Dadas las múltiples relaciones de la precipitación con otras variables geográficas (Altitud, exposición y orientación del relieve, pendiente, longitud) y con los procesos de la media y alta troposfera, la estimación de las relaciones con estas variables y de las condiciones en la estructura vertical de la atmósfera a través del kriging, han permitido conocer e interpretar mas integralmente el comportamiento y la variabilidad espacial y temporal de la precipitación (Kravchenko, Zhang y Koung Tung, 1996).

## 6. Conclusiones

El estudio de fenómenos complejos como la precipitación demanda de herramientas capaces de analizar de manera satisfactoria las variables geográficas que intervienen en su ocurrencia y distribución. Procedimientos estadísticos hasta ahora aplicados, aunque con resultados aceptables, mostraron ser deficientes en el estudio eficaz de este fenómeno climático. La geoestadística aplicada en plataformas robustas como por ejemplo los sistemas de información geográfica promete ser una alternativa muy positiva al estudiar dicho fenómeno.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes por el financiamiento a la siguiente investigación Código NUTA-H-241-06-09-AA, organismo al cual deseamos expresar nuestro agradecimiento.

## Referencias bibliográficas

- ALMARZA, C. Y LUNA, C. (s.f.). Homogeneidad y variabilidad de la precipitación y la temperatura en zonas climáticamente homogéneas de la Península Ibérica [Documento en línea]. Disponible: "<http://www.ame-web.org/JORNADAS/C10-trabajo%20Almarza%20y%20Luna.pdf> [Consulta: 2005, Enero 26]
- CANAVOS, G. (1988). Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. España. McGraw Hill.
- CEBALLOS B., A. (s.f.) Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la Provincia de Cáceres [Documento en línea]. Disponible: "<http://www.fyl-unex.com/foro/publicaciones/norba/files/10/p2.pdf> [Consulta: 2005, Enero 27]
- CUADOR G., J. (2000). La geoestadística, su surgimiento y evolución. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.ciget.pinar.cu/No,%202000-2/geoestadistica.htm> [Consulta: 2005, Febrero, 01]
- CUADOR G., J. (S.F.). Elementos de geoestadística. [Documento en línea]. Disponible:<http://www.monografias.com/trabajos14/geoestadistica/geoestadistica.shtm> [Consulta: 2005, Mayo, 17]
- CUADRAT, J. Y PITA, M. (1997). Climatología. Madrid: Ediciones Cátedra.
- CHAZARRA B., A., LÓPEZ D., J. Y AGUADO E., F. (s.f.). Caso estudio de aplicación de datos de precipitación radar a la estimación del campo de precipitaciones con fines climatológico. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.aeclim.org/3congr/chazarra2.pdf>. [Consulta: 2005, Enero 13]
- DALY, C., NEILSON, R. Y PHILLIPS, D. (1993). A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. [Documento en línea]. Disponible: <http://ams.allenpress.com/archive/1520-0450/32/2/pdf/i1520-0450-33-2-140.pdf> [Consulta: 2005, Enero 05]
- DEMEY, Y. R. y PRADERE, R. (s.f.) Generación de isolíneas de precipitación al sur del Estado Aragua-Venezuela usando Kriging con Tendencia Externa. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v46\\_3a006.html](http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v46_3a006.html) [Consulta: 2005, Enero, 24]

- EBDON, D. (1982). Estadística para geógrafos (1ª ed.). Barcelona, España: Oikus-Tau.
- GIL OLCINA, A. Y OLCINA CANTOS, J. (1997). Climatología General. Barcelona, España: Ariel Geografía.
- GOOVAERTS, P. (1999). Performance comparison of Geostatistical algorithms for incorporating elevation into the mapping of precipitation. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/023/gc\\_023.htm](http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/023/gc_023.htm) [Consulta: 2005, Enero 04]
- GUEVARA D., J. (1987). Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. Caracas Universidad Central de Venezuela.
- KARAMOUZ, M., ZAHRAIE B. Y SHAHRAKI, M. (s.f.). Analysis of spatial variation of precipitation: A case of study of Western Iran [Documento en línea]. 7º International Congress on Civil Engineering. Disponible en: <http://www.icce7th.com/papers/pdf/E1030.pdf> [Consulta: 2005, Enero 05]
- KASTELEC, D. Y KOSMELJ, K. (2002). Spatial interpolation of mean yearly precipitation using universal Kriging. [Documento en línea]. Disponible en: <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pub/mz/mz17/Kastelec.pdf> [Consulta: 2005, Enero 05]
- KRAVCHENKO, A., ZHANG, R. Y KOUNG TUNG, Y. (1996) Estimation of mean annual precipitation in Wyoming using Geostatistical analysis [Documento en línea]. Disponible en: <http://library.wrds.uwyo.edu/wrp/96-04/96-04.html> [Consulta: 2005, Enero 05]
- LINSLEY, R., KOHLER, M. Y PAULHUS, J. (1975). Hidrología para ingenieros. Bogota: Mc Graw Hill.
- LÓPEZ M., J., SÁNCHEZ, J. Y ANDRESSEN, R. (2001). Comparación de varios métodos para la representación cartográfica de información climática en zonas altas del Estado Lara. [Documento en línea]. Disponible: [http://pegasus.ucla.edu.ve/BIOAGRO/Rev13\(1\)/6.%20Comparaci%C3%83n%20de%20varios.pdf](http://pegasus.ucla.edu.ve/BIOAGRO/Rev13(1)/6.%20Comparaci%C3%83n%20de%20varios.pdf) [Consulta: 2005, Octubre 13]
- MARTÍNEZ-COB, A. (1995). Cartografía de la variabilidad espacial de variables agro- nómicas mediante técnicas geoestadísticas. [Documento en línea]. Disponible: [http://mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_artículo=1235](http://mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_artículo=1235) [Consulta: 2005, Diciembre 01]
- MIRÁS J. M. Y PAZ, A. (2003). Comparación de Krigeado ordinario y Krigeado Universal para estimar la precipitación de Galicia [Documento en línea]. Ponencia presentada en IX Conferencia Española de Biometría. La Coruña. Disponible: <http://www.udc.es/dep/mate/biometria2003/Archivos/ma49.pdf> [Consulta: 2005, Enero 06]
- NIKOLOVA, M. Y VASSILEV, S. (s.f.). Mapping precipitation variability using different interpolation methods [Documento en línea]. Disponible: "[http://www.balwois.mpl.ird.fr/balwois/administration/full\\_paper/ffp-631.pdf](http://www.balwois.mpl.ird.fr/balwois/administration/full_paper/ffp-631.pdf)" [Consulta: 2005, Diciembre 20]
- PERDOMO, E. Y PERDOMO, I. (1979). Elementos prácticos de climatología estadística. Ciudad Guayana: Edelca.
- PRADERE, R. (1999). Definición de patrones homogéneos de pluviosidad en los llanos Centrales venezolanos mediante Kriging Factorial [Documento en línea]. Disponible: [http://www.redpavfpolar.info.ve/agrotrop/v49\\_3/a493a004.html](http://www.redpavfpolar.info.ve/agrotrop/v49_3/a493a004.html) [Consulta: 2005, Octubre 25]
- PRIMERA, M., VILORIA, J. Y PUCHE, M. (s.f.). Mapa de isoyetas de precipitación para la Cuenca alta del río Guárico por kriging ordinario [Documento en línea] 1ras Jornadas Nacionales de Geomática. Disponible: "<http://www.fii.org/www/cpdi/jornadas/pdf/primer.pdf>" [Consulta: 2005, Diciembre 26]

- ROMERO R., J. Y TRIANA Z., G. (2005). Distribución espacial de la precipitación en Colombia utilizando técnicas geoestadísticas. [Documento en línea] Disponible: <http://webigac1.igac.gov.co/UnionEU/jromero.pdf> [Consulta: 2005, Noviembre 10]
- RONDÓN, O. (s.f.) Curso de Krigeado por Oscar Rondón [Documento en línea]. Disponible: <http://www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLopez/geoestadistica/index.htm> [Consulta: 2005, Diciembre 26]
- SÁNCHEZ C., J. (1999). Agroclimatología. Caracas. Universidad Central de Venezuela.
- TODINI, E. (2001) A bayesian technique for conditioning radar precipitation estimates to rain gauge measurements. Hydrology and earth system sciences [Revista en línea]. Disponible: "<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/5/187/2001/hes>" -5-187- 2001.pdf [Consulta: 2005, Enero 05]
- VANDERLINDEN, K. (2003). Introducción a la Geoestadística. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.uco.es/vida/seminarios/cartelcursogeostat.htm> [Consulta: 2005, Agosto 08]