

**ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO DE LA VARIABILIDAD
TEMPORAL, A UNA ESCALA ANUAL Y MENSUAL,
DE PARÁMETROS CLIMÁTICOS EN UN CAMPO
EXPERIMENTAL, ESTADO ARAGUA, VENEZUELA**

**Adriana Cortéz*, Francisco A. Ovalles*, María F. Rodríguez*,
Juan C. Rey* y María C. Núñez***

RESUMEN

La preocupación por la variabilidad climática y sus influencias se ha venido incrementando. La actividad agrícola incide en los cambios climáticos y éstos a su vez influyen en el desempeño de esta actividad. El objetivo del trabajo es el de evaluar la variabilidad temporal de los datos de precipitación y la temperatura de la estación climática ubicada en el campo experimental del CENIAP, para ello se seleccionaron los datos disponibles de precipitación, período 1960-2003, y de temperatura (máxima, mínima y promedio), período 1960-1999. Los datos fueron sometidos a un análisis exploratorio (AED) y un análisis geoestadístico. El AED indicó que los valores de precipitación tuvieron una distribución normal logarítmica y los de temperatura una distribución cercana a la normal. La precipitación y la temperatura en el campo experimental del CENIAP ha presentado variaciones importantes anual y mensualmente de carácter cíclico: quinquenales y semestrales para el caso de la precipitación, y de 4 a 7 años y 4 a 5 meses en el caso de en la temperatura, observándose una mayor variación intraanual que interanual. La presencia de esta variación sistemática en el tiempo indica que el uso de los promedios de estas variables no constituye una herramienta de pronóstico eficiente; siendo el modelo de variación establecido por medio de la geoestadística una solución útil para las predicciones climáticas.

Palabras Clave: Variabilidad climática; semivariogramas; kriging; Campo Experimental CENIAP; Maracay; Venezuela.

* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Laboratorio e sistemas de Información en Recursos Agroecológicos. Apdo. 4846. Av. Universidad, vía El Limón. Maracay 2101, estado Aragua. Venezuela. E-mail: acortez@inia.gov.ve

RECIBIDO: enero 17, 2005

INTRODUCCIÓN

La existencia de variabilidad dentro del clima, es decir las oscilaciones en las propiedades estadísticas sobre períodos de tiempo, y la secuencia de estas oscilaciones de las variables climatológicas alrededor de la normal se denominan “Variabilidad Climática”. Así mismo, las diferencias entre el valor registrado de la variable y su promedio se conocen como “Anomalía” a un cierto nivel de significancia (Pabón, 1997).

El tiempo ha sido definido como una sucesión de estados correspondientes a una variación de energía o cambio de posición (Hawking, 1990). Por otra parte, se conoce que en el universo interactúan los sistemas microscópicos con los macroscópicos, y en consecuencia, para evaluar los cambios temporales de los parámetros climáticos es necesario introducir el componente escala.

Así, la variabilidad climática se presenta en diferentes escalas de tiempo. Para las latitudes medias las estaciones del año son, tal vez, la forma más conocida de dicha variabilidad, mientras que en latitudes tropicales son conocidas las temporadas lluviosas y las temporadas secas. Gran parte de las actividades, particularmente las agropecuarias, están orientadas con el conocimiento de este tipo de secuencias periódicas.

Se puede hablar de “Cambio Climático” cuando las propiedades estadísticas de una secuencia de años o décadas, difieren considerablemente respecto a otra secuencia de años o décadas de referencia, sobre una escala de tiempo adecuada.

La preocupación por la variabilidad climática y sus influencias se ha venido incrementando en términos de las alteraciones en el régimen de lluvias, las temperaturas y otros parámetros, particularmente a partir de la década del 90, a raíz de la Conferencia de Cambio Climático en Kyoto. Las posibles relaciones entre el Cambio Climático y la variabilidad, son y han sido objeto de numerosas discusiones científicas, debido a los problemas de confiabilidad estadística de los registros climáticos o a la ausencia de los mismos (Córdova, 2003).

Los individuos y comunidades sufren las consecuencias de no contar con la debida protección contra la variabilidad del clima. Además la pobreza, que magnifica los efectos negativos de los contrastes climáticos,

frecuentemente no permite dedicar los recursos necesarios para prevenir o mitigar debidamente los problemas causados por tal variabilidad (AASC, 2003).

El sector agrícola al responder a la exigencia de limitar su contribución al posible calentamiento global, se traduce en modificar los métodos de producción y se hace necesario estar mejor preparados para enfrentar la creciente variabilidad y las condiciones extremas; así como prever la posibilidad de que el cambio sea permanente. La naturaleza de esta necesidad de adaptación está determinada en principio por factores cada vez más restrictivos de la producción agrícola y por la vulnerabilidad de los sistemas de producción. Será preciso tener en cuenta el ritmo que demandará la necesaria adaptación a la variabilidad del clima y al cambio climático, así como las repercusiones de otros cambios socioeconómicos o ambientales (OMM, 2001).

Diversos autores han utilizado la geoestadística para evaluar la variabilidad de distintos parámetros climáticos, en especial precipitación y temperatura. Sin embargo, la mayoría, a pesar del gran dinamismo temporal que tiene el clima, tan solo han establecido su variabilidad espacial (Ahmed, 2004; Demey y Predere, 1996; Diodato y Ceccarelli, 2005); de igual forma la geoestadística ha sido empleada para determinar la relación espacial entre precipitación y elevación (Eparado-Igúzquiza, 1998; Sen y Habib, 2000); siendo muy pocos los estudios que han evaluado la variación temporal (Subyani, 2004).

El objetivo de este trabajo es el de evaluar la variabilidad temporal de los datos de precipitación y la temperatura de la estación climática ubicada en el campo experimental del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), ubicado en Maracay, estado Aragua, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se seleccionaron los datos disponibles de precipitación, período 1960-2003, y de temperatura (máxima, mínima y promedio), período 1960-1999, de la estación climática ubicada en el campo experimental del CENIAP-Maracay, estado Aragua, Región centro-norte de Venezuela, a 10° 17' 14" LN, y 67° 36' 02" LO, 480 m.s.n.m. La zona se clasifica como bosque seco tropical, subhúmedo (Ewel y Madriz, 1968).

Los datos utilizados provienen de las lecturas diarias de un pluviógrafo de balancín marca SIAP, para el caso de la precipitación y de las lecturas diarias del termómetro de máxima y mínima para las temperaturas máximas y mínimas, respectivamente. Los datos fueron sometidos a un análisis exploratorio (AED), que tiene por finalidad el entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas (Salvador Figueras y Gargallo, 2003), el AED es fundamentalmente un método de análisis gráfico.

Mediante el análisis univariado se obtuvieron los estadísticos básicos (media, varianza, desviación standard, coeficiente de variación, kurtosis, asimetría, valores máximos y mínimos y cuartiles) y la presencia de valores atípicos.

Se utilizó la metodología de Tukey (1977), de determinación de cercas internas y externas empleando el rango intercuartil, para detectar la presencia de valores atípicos (Rey y Ovalles, 2000). En este estudio se consideraron como atípicos, aquellos valores que se localizaron por fuera de las cercas internas. Para los análisis estadísticos se utilizó los programas Geo-EAS (Englund y Sparks, 1991) y Vista (Young, 2001).

Posterior al análisis estadístico, los datos fueron sometidos a un análisis geoestadístico, para ello a cada dato se le asignaron valores de coordenadas temporales (X, Y) considerando dos escalas distintas, mes (Y) y año (X), tomando como origen de los ejes de coordenadas el vértice correspondiente al mes de enero y al año 1960 (Figura 1). Para este análisis se utilizó el programa Variowin (Pannatier, 1996). Se calculó para cada variable la semivarianza total y en distintas direcciones (0° , 45° , 90° y 135°), a partir de estos resultados se elaboraron los semivariogramas experimentales.

Los semivariogramas se obtienen graficando la semivarianza contra los incrementos de la distancia de muestreo. Los semivariogramas se ajustaron a modelos teóricos por el método de los mínimos cuadrados. A partir de los modelos ajustados se obtuvo el alcance o rango de dependencia espacial, el umbral o sill y la varianza aleatoria o varianza nugget, los cuales constituyen los parámetros espaciales de los modelos de variación de los atributos de suelo evaluados.

Con la finalidad de analizar la variación temporal anual y mensual de la precipitación y la temperatura media, se consideraron fundamentalmente los semivariogramas en las direcciones 0° (Variación Anual) y 90° (Variación Mensual).

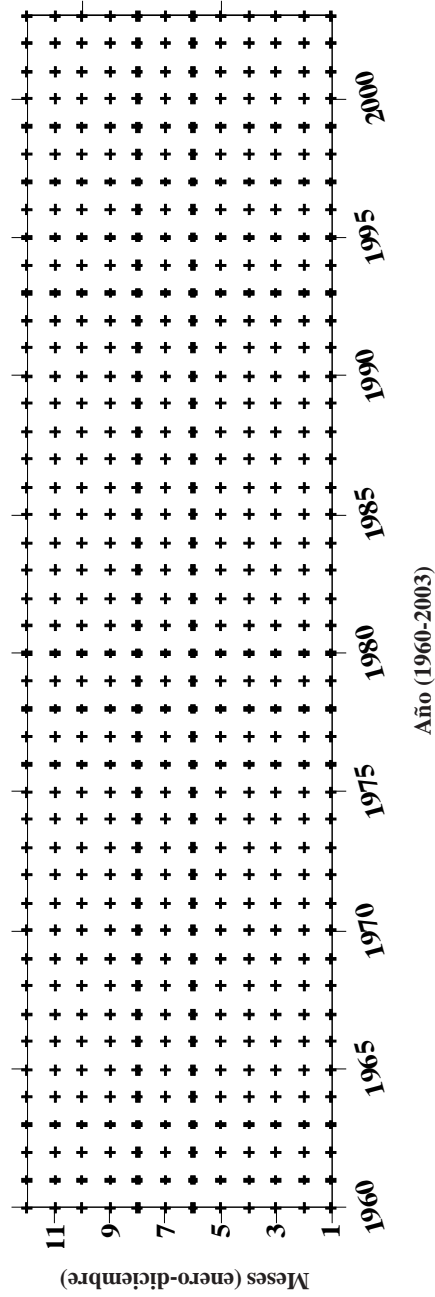


FIGURA 1. Distribución de los ejes temporales en un espacio bidimensional en dos escalas de tiempo: años (eje X) y meses (eje Y).

Para estimar la variación en el tiempo de las variables climáticas, fue utilizado el método de kriging ordinario en bloques, ya que se está realizando una evaluación a nivel anual y mensual. El kriging ordinario asume que las medias de períodos de tiempo específicos, no están necesariamente relacionadas con la media de la población (Ovalles, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis exploratorio

Los resultados del AED se presentan en el Cuadro 1. Al analizar los valores de asimetría y curtosis, se evidencia que la temperatura (máxima, mínima y promedio) presentó una asimetría cercana a 0 que corresponde a una distribución normal. Los valores de curtosis son bajos en relación al valor 3 característico de la distribución normal. Los valores de precipitación tienden más a una distribución normal logarítmica (Figura 2).

CUADRO 1. Parámetros estadísticos de las variables climáticas estudiadas.

	Variables			
	Precipitación	Tmáx.	Tmín.	Tprom.
n	528	471	471	471
Media	82,6	31,7	18,0	24,9
D.E.	77,66	1,22	1,87	1,05
Varianza	6 031,76	1,49	3,51	1,10
Mín.	0,0	28,8	13,1	22,2
Máx.	408,3	35,3	23,2	28,0
Mediana	67,7	31,5	18,5	24,9
Q ₁	6,7	30,8	16,60	24,20
Q ₃	136,9	32,5	19,4	25,5
Asimetría	0,82	0,57	-0,39	0,10
Curtosis	0,23	-0,16	-0,54	-0,06

n= Número de observaciones; D.E.= Desviación estándar; Mín.=Valor mínimo; Máx.= Valor máximo; Q₁= 1^{er} Cuartil; Q₃= 3^{er} Cuartil

FIGURA 2. Distribución (a) y gráfico de caja (box plot) (b) de los valores de precipitación.

La relación media / mediana para la variable temperatura es muy próxima a 1, lo que sugiere que estos datos presentaron una distribución cercana a la normal.

El análisis para detectar valores atípicos, permitió establecer que la precipitación presentó valores ubicados entre las cercas interna y externa superior (Figura 3), los cuales de acuerdo a Tukey (1977) son considerados como lejanos a la media, los que están fuera de las cercas externas son considerados como muy lejanos y los que están dentro de las cercas internas son considerados como adyacentes.

En este caso se procedió a eliminar todos los datos ubicados fuera de las cercas internas; sin embargo, se mantuvo la distribución de las observaciones aunque se redujo la asimetría y se incrementó la curtosis. Los parámetros de temperatura tuvieron todos los valores dentro de las cercas internas.

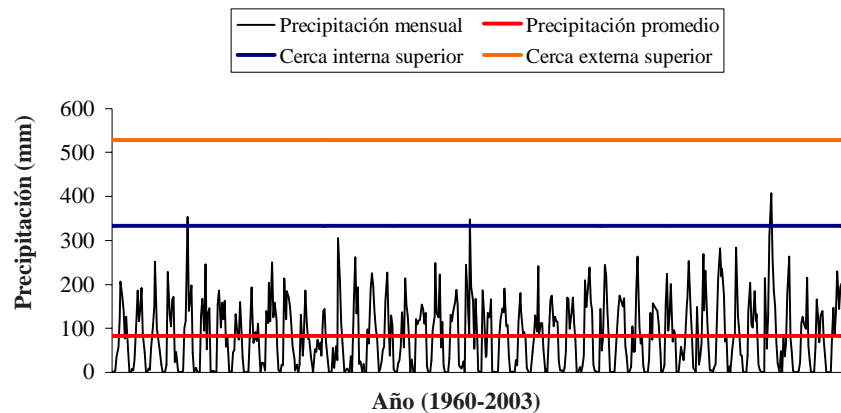


FIGURA 3. Distribución de los valores mensuales de precipitación (1960-2003) en relación a la media y las cercas internas y externas.

Análisis geostatístico

Precipitación

En la Figura 4 se pueden apreciar los semivariogramas experimentales que muestran la variación anual y mensual para el caso de la precipitación. En el caso de la variación anual, se observa un incremento de la semivarianza con la distancia hasta estabilizarse aproximadamente a los 16 años, indicando que ya en ese período de tiempo la precipitación anual presenta una dependencia temporal. A este comportamiento, se le denomina carácter transitivo.

Sin embargo, dentro de los primeros 16 años, se aprecia un efecto anidado, en el cual hay incrementos (3-4 años) y cortos períodos de estabilización de la semivarianza de la precipitación (1-2 años). Este comportamiento se repite en ciclos de 5 a 6 años hasta que definitivamente la variación se estabiliza a los 16 años, indicando un comportamiento cíclico de la precipitación anual.

La variación mensual mostró un semivariograma con incrementos de la variación hasta los 6 meses y luego esta variación desciende. Este comportamiento de la variación se corresponde con la ocurrencia de una distribución estacional de las lluvias con 6 meses secos y 6 húmedos.

FIGURA 4. Semivariogramas anual y mensual de la precipitación de la Estación Climática CENIAP (1960-2003).

Los semivariogramas fueron ajustados a modelos teóricos presentándose los resultados en el Cuadro 2. Existe en apariencia una anisotropía, que debe ser mejor evaluada por la influencia que tienen las dos escalas temporales evaluadas.

El ajuste muestra un alcance anual de 5,04 indicando que hay una periodicidad quinquenal en la variación de la precipitación, mientras que el alcance mensual (5,59) indica que la precipitación presenta dependencia temporal de 6 meses dentro de un mismo año. Ambas escalas de percepción (anual y mensual) mostraron un claro componente nugget, lo que sugiere que se presenta una microvariabilidad no explicada por las observaciones anuales y mensuales utilizadas (Arrouays *et al.*, 2000).

La proporción de la varianza aleatoria o nugget con respecto al umbral es conocida como efecto nugget relativo, cuya magnitud es una expresión del grado de dependencia espacial que existe entre las observaciones de la variable considerada (Cambardella *et al.*, 1994). El efecto nugget relativo fue de 17,8% para la precipitación mensual, mientras que para la precipitación anual fue mayor de 44,8%. Estos valores indican según (Cambardella *et al.*, 1994) una alta dependencia temporal en el caso de la precipitación mensual y una moderada en el caso de la anual, es decir, hay una mayor variación de la precipitación año a año, que mes a mes. Por otra parte, el Umbral fue mucho mayor para la precipitación mensual, indicando que las variaciones de precipitación intraanuales son mayores a las variaciones interanuales.

CUADRO 2. Parámetros de los semivariogramas de precipitación.

Variable	Modelo	Nugget (mm ²)	Umbral (mm ²)	Alcance tiempo	Nugget relativo (%)
Precipitación Anual	Esférico	1 430,0	3 190,0	5,04	44,8
Precipitación Mensual	Esférico	1 450,0	8 140,0	5,59	17,8

Temperatura

La temperatura fue analizada en sus componentes máxima, mínima y promedio a las escalas temporales anual y mensual. La variación temporal de la temperatura máxima anual (Figura 5) mostró un aumento sostenido de la variación temporal, observándose un efecto anidado en ciclos de 4 a 7 años. El incremento de la variación en el tiempo de manera sostenida indica que ha habido un cambio en la temperatura máxima a través de los años de manera continua y en este caso, la temperatura máxima se ha ido incrementando a lo largo de los años. En la temperatura promedio la variación se incrementa hasta los 11 años y luego disminuye, indicando que cada 11 años las temperaturas mínimas y promedios tienden a ser más parecidas entre sí (variación cíclica).

FIGURA 5. Semivariogramas anual y mensual de la temperatura máxima de la Estación Climática CENIAP (1960-2003).

El semivariograma mensual se presenta similar para las temperaturas máximas, mínimas y medias, mostrando incrementos de variación los primeros 5 meses, para luego descender en el tiempo (Figura 5).

En el Cuadro 3 se muestra el ajuste de los semivariogramas de temperatura a modelos teóricos. Se observa como los alcances de dependencia temporal anual están en el orden de los 5 años para las temperaturas mínima y promedio y de 7 años para la temperatura máxima y un alcance de dependencia espacial mensual entre 4 y 5 meses. Al igual que para la precipitación, existe una alta dependencia temporal mensual (efecto nugget < 25 %) y una moderada dependencia temporal anual (efecto nugget entre 25 y 75%), indicando que la variación de temperatura mes a mes, es menor que la que ocurre año a año; sin embargo, la variación total de temperatura dentro de un año (umbral mensual) es mayor a la variación total de temperatura que ocurre entre los años (umbral anual). Este comportamiento de la temperatura es típico de las regiones tropicales, donde ocurren variaciones muy pequeñas en los promedios anuales de temperatura.

CUADRO 3. Parámetros geoestadísticos de los semivariogramas generales.

Variable	Modelo	Nugget	Umbral	Alcance*	Nugget relativo (%)
T máxima anual	Esférico	0,525	1,080	7,35	48,6
T máxima mensual	Esférico	0,200	1,955	4,03	10,2
T mínima anual	Esférico	0,648	1,908	5,25	35,9
T mínima mensual	Esférico	0,500	4,536	4,48	11,0
T promedio anual	Esférico	0,341	0,759	5,25	44,9
T promedio mensual	Esférico	0,121	1 1990	4,83	10,1

- Se recomienda como paso posterior a este estudio la validación de los modelos de simulación climática por medio de la geoestadística, y aplicación y validación de la metodología propuesta en este trabajo en sitios con diferentes condiciones climáticas.

SUMMARY

Concern for climatic variability and its influences has increased. Agricultural activity and climatic change have reciprocal influences. The objective of this work was to evaluate the temporal variability of precipitation and temperature data of the climatic station located in the experimental field of CENIAP. Precipitation data corresponding to the period 1960-2003, and temperature (maximum, minimum and average) data corresponding to the period 1960-1999 were selected and subjected to an exploratory analysis (EA) and a geostatistical analysis. The EA indicated that the precipitation data set had a logarithmic normal distribution and the temperature data set had a near normal distribution. Precipitation and temperature in the experimental field of the CENIAP has presented important annual and monthly recurrent cyclic variations: quinquennial and biannual for the case of precipitation and 4 to 7 years and 4 to 5 months in the case of temperature. Within year variations were higher than between years variations. The presence of this systematic variation in the time indicates that the use of the means of these variables doesn't constitute an efficient tool of prediction. The variation model developed by geostatistics could be a useful solution for climatic predictions.

Key Words: Climatic variability; semivariograms; kriging.

BIBLIOGRAFÍA

AHMED, S. 2004. Geostatistical estimation variance approach to optimizing an air temperature monitoring network. *Water Air and Soil Pollution* 158 (1):387-399 .

ARROUAYS, D., S. MARTIN, A. LEPRETRE and H. BOURENNANE. 2000. Short-range spatial variability of metal content in soil on a one hectare agricultural plot. *Communication Soil Science and Plant Analysis* 31:387-400.

ASOCIACIÓN AMERICANA DE CLIMATÓLOGOS ESTATALES (AASC). 2003. Declaración de Postura Sobre Políticas de Variabilidad y Cambio del Clima. Estados Unidos. 3 p.

CAMBARDELLA, C., T. MOORMAN, J. NOVAK, T. PARKIN, D. KARLEN, R. TURCO y E. KONOPKA. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1 501-1 511.

CÓRDOVA, K. 2003. Impactos socio-ambientales de la variabilidad climática. Las sequías en Venezuela. Instituto de Geografía y Desarrollo Regional. Área de Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable. Universidad Central de Venezuela. 4 p.

DEMEY, J. R. and R. PRADERE. 1996. Generacion de isoclinas de precipitacion al sur del Estado Aragua -Venezuela usando kriging con tendencia externa. *Agronomía Tropical* 46(3):313-333.

DIODATO, N. and M. CECCARELLI. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy). *Earth Surface Processes and Landforms* 30(3):259-268

ENGLUND, E and A. SPARKS. 1991. Geo-EAS 1.2.1 User's Guide, US_EPA Report # 600/8 -91/008. EPA_EMSL, Las Vegas, NV.

EPARDO-IGÚZQUIZA, E. 1998. Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. *Int. J. of Climatology* 18(9):1 031-1 047.

EWEL, J. y A. MADRIZ. 1968. Zonas de Vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría (MAC). Dirección de Investigación. Caracas. 264 p.

HAWKING S. W. 1990. Historia del tiempo, del Big Bang a los agujeros negros. Hurope, S.A, Barcelona. pp. 55-64.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM) 2001. Tiempo, Clima y seguridad Alimentaria. Ginebra. Suiza. Boletín Divulgativo N° 933.

OVALLES, F. 1991. Evaluación de la variabilidad de los suelos a nivel de parcelas, para el establecimiento de lotes experimentales en el estado Cojedes, *Agronomía Trop.* 41 (1 y 2):5-19.

PABÓN, D. 1997. Técnicas agrometeorológicas en la agricultura operativa de América Latina. Paipa, Colombia. Organización Meteorológica Mundial. p. 99-103.

PANNATIER, Y. 1996. Variowin. Software for Data Analysis in 2D. Springer, New York. 91 pp.

REY, J. C. y F. OVALLES. 2000. Efecto de técnicas exploratorias de los datos en estimaciones Kriging de propiedades del suelo. *Agronomía Trop.* 51:81-106.

SALVADOR FIGUERAS, M y P. GARGALLO. 2003. Análisis Exploratorio de Datos [en línea]. Disponible <http://www.5campus.com/leccion/aed> [Consulta 2003, 12 de Julio].

SEN, Z. y Z. HABIB. 2000. Spatial Precipitation Assessment with Elevation by Using Point Cumulative Semivariogram Technique. *Water Res. Manag.* 14 (4):311-325

SUBYANI, A. M. 2004. Geostatistical study of annual and seasonal mean rainfall patterns in southwest Saudi Arabia. *Hydrological Sci. J.* 49(5):803-817.

TUKEY, J. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, Reading, Mass, USA. p. 688.

YOUNG, F. 2001. *VISta The visual Statistics System: How to use VISta*. Univ. of North Carolina. 66p.