

Estimación de las precipitaciones utilizando información satelital y terrestre en la provincia de Córdoba (Argentina)

Ravelo, A.C. y J.A. Santa

RESUMEN

Se determinaron los umbrales térmicos más estrechamente correlacionados con la ocurrencia de la precipitación, para cuatro localidades de la región serrana y llana de la provincia de Córdoba (Argentina). El umbral de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ es el de mayor correlación con las precipitaciones registradas. Se efectuó un análisis de regresión entre la precipitación observada durante la tormenta y el tiempo en el que el tope de la nube permanece por debajo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las estimaciones logradas con dicha ecuación de regresión poseen un error medio de estimación de 3,2 mm, lo cual permitirá la utilización de imágenes del satélite GOES para estimar las precipitaciones con una precisión adecuada para aplicaciones en agricultura.

Palabras clave: precipitación, satélite GOES, imágenes.

Ravelo, A.C. y J.A. Santa, 2000. Estimating rainfall using satellite and ground information in Córdoba province (Argentina). Agriscientia XVII : 21-27

SUMMARY

The thermal thresholds closest related to rainfall occurrence in four locations in the hills and plains of Córdoba province (Argentina) were established. The threshold of $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ is the best correlated to recorded rainfall. A regression analysis was performed for recorded rainfall during the storm and the time during which the cloud temperature remained at or below $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. The rainfall estimates obtained with the regression equation has a mean square error of 3.2 mm. This will allow the use of GOES images for estimating rainfall with enough precision for agriculture applications.

Key words: precipitation, GOES satellite, images.

Ravelo, A.C. y J.A. Santa. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas Naturales (CREAN). Fac. de Ciencias Agropecuarias, Univ. Nac. de Córdoba. C.C. 509, 5000 Córdoba., Argentina E-mail: ravelo@crean.agro.uncor.edu

INTRODUCCIÓN

En las regiones semiáridas, las precipitaciones constituyen el principal factor condicionante de la productividad agrícola. Su observación se realiza mediante pluviómetros, los cuales proveen una información puntual del fenómeno meteorológico. Por otra parte es ampliamente reconocida la variabilidad espacial de las precipitaciones, especialmente aquellas provenientes de procesos convectivos durante la época estival. Por lo tanto, los datos obtenidos de los pluviómetros sólo representan el área circundante y próxima a la estación meteorológica.

El desmantelamiento de la red pluviométrica asociada a las estaciones de las líneas ferroviarias y la reducción del número de estaciones meteorológicas dependientes de la Dirección de Aguas y Saneamiento de la provincia de Córdoba han ocasionado una drástica disminución de los datos pluviométricos disponibles. En la actualidad, la densidad de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional que registran precipitaciones en la región cerealera de la provincia de Córdoba es, aproximadamente, de una estación por cada 10.000 kilómetros cuadrados (SMN, 1993). Esta situación trae aparejada una insuficiente disponibilidad de información pluviométrica para conducir un seguimiento de las condiciones hídricas y su efecto sobre la productividad de los cultivos y pasturas.

La estimación regional de las precipitaciones a partir de información satelital ofrece la ventaja de una adecuada cobertura regional, a la vez que permite capturar la variabilidad espacial de las precipitaciones, en particular durante el verano (Scofield, 1987; Adler & Negri, 1988; Herman *et al.*, 1994). Esta característica posee un valor relevante en las actividades agrícolas y en la respuesta de los cultivos a las precipitaciones, una de las variables más importantes de la productividad vegetal.

Los nuevos satélites geoestacionarios de la serie GOES (Geostationary Operational Environmental

Satellite) del Servicio Meteorológico de Estados Unidos y de METEOSAT de la Agencia Espacial Europea (ESA), proveen datos meteorológicos cada 30 minutos con una resolución de superficie de 1 y 4 kilómetros cuadrados por elemento de la imagen (píxel). Los datos provistos por el satélite GOES están siendo utilizados en los Estados Unidos de Norteamérica desde la década del 70 para la estimación de lluvias en áreas no cubiertas por información de superficie (Scofield & Oliver, 1977; Scofield, 1987; Griffith *et al.*, 1978). En Inglaterra y Francia surgen otras aplicaciones, principalmente para África, en sistemas de alerta precoz de sequías (Callis & Decker, 1988; Dugdale, 1992; Desbois, 1993; Drouet & Cunin, 1993; Arnaud & Taupin, 1993). Básicamente, la metodología se fundamenta en la utilización del canal 4 en el rango espectral de 10,2 a 11,2 mm o infrarrojo (CIR) y del canal 1 en el rango de 0,52 a 0,72 mm o visible (VIS) de los satélites GOES y METEOSAT. Asimismo, han surgido otras técnicas que utilizan información de CIR y de micro-onda (Adler *et al.*, 1993). Scofield (1987) y Grassotti & Garand (1994) han desarrollado técnicas que combinan datos de CIR, radio sondeo y resultados de modelos numéricos de nubes. Herman *et al.* (1994) desarrollaron una técnica que combina información satelital y terrestre para estimaciones de lluvia en el Sahel (África) para ser utilizadas en el monitoreo de la producción de los cultivos.

La información satelital conjuntamente con la proveniente de redes pluviométricas están siendo utilizadas actualmente en numerosos países, dado que aseguran una cobertura informática mucho más densa y adecuada para fines agropecuarios (Ravelo, 1979; Arkin & Ardanuy, 1989; King *et al.*, 1995).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un análisis de regresión entre la información procesada del satélite GOES y los registros pluviométricos terrestres, de forma de establecer ecuaciones de estimación de las precipitaciones a partir de la información satelital.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas, fechas de las tormentas y frecuencia de los registros pluviométricos.

Estación (Localidad)	Latitud (Sur)	Long. (Oeste)	Altura (m)	Fecha de las Tormentas	Frecuencia de registro
Villa Carlos Paz	31° 24'	64° 28'	600	13/01/99, 21/01/99, 27/01/99, 16/02/99, 16/03/99	Cada milímetro
La Serranita	31° 44'	64° 28'	690	12/01/99, 21/01/99	Cada 15 minutos
Olaeta	33° 01'	63° 56'	229	4/3/98, 26/4/98, 5/5/98	Horaria
Ferreyra	31° 28'	64° 08'	430	23/1/99, 27/1/99	Cada 12 minutos

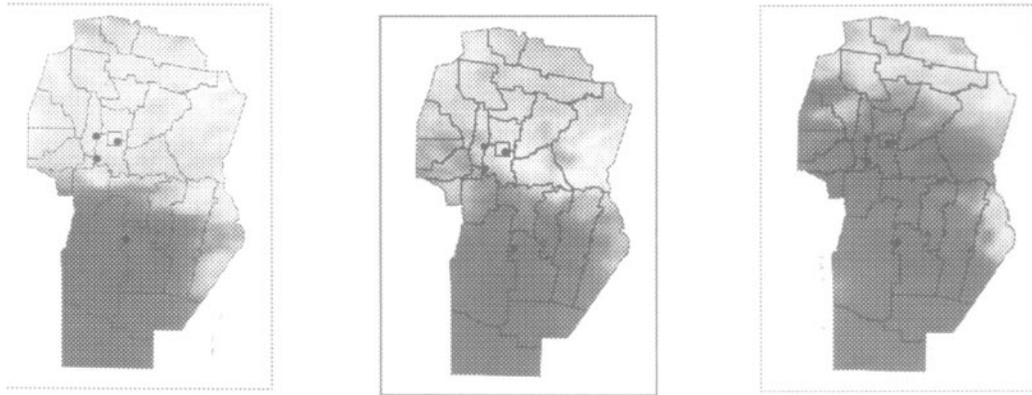


Figura 1. Dinámica de la tormenta del 27/1/99 en la provincia de Córdoba. Las zonas más oscuras corresponden a las áreas más activas de la tormenta. Los puntos indican las localidades con registros pluviométricos considerados en el análisis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los datos de pluviómetros digitales ubicados próximos a las localidades de Ferreyra, Olaeta, Carlos Paz y La Serranita, representativas de áreas llanas y serranas de la provincia de Córdoba, Argentina (tabla 1). Los registros pluviométricos fueron obtenidos a intervalos variables, según la localidad, y se acumularon de acuerdo a los períodos de obtención de las imágenes satelitales.

Las imágenes del satélite GOES 8 de los canales visible (1 km de resolución) e infrarrojos (4 km de resolución) fueron provistas por Climate Assessment Center / NESDIS - NOAA de EE.UU., para algunas fechas durante los meses de verano y otoño en 1998 y 1999 durante las cuales se produjeron tormentas (tabla 1).

La técnica de estimación consistió en establecer los umbrales del CIR que estaban asociados a la ocurrencia de precipitaciones en cada localidad y su variabilidad temporal. Así se pudo establecer el nivel del CIR que se correlacionaba mejor con las lluvias registradas. Los valores del CIR, en términos de temperatura, correspondieron al promedio de un área de 3 x 3 píxeles ubicados espacialmente sobre la estación meteorológica. Se realizó un análisis de correlación entre el tiempo (CCD) en minutos en que la temperatura promedio de los 9 píxeles permaneció debajo de -10, -20, -30, -40, -50 y -60 °C y los registros pluviométricos acumulados (PCP) durante dicho período. Los procesos de acumulación de las precipitaciones fueron sincronizados con la hora de recepción de las

imágenes satelitales. Una vez establecido el umbral que mejor correlacionaba con la precipitación observada, se efectuó un análisis de regresión entre los valores acumulados de precipitación y el tiempo en que la temperatura de la nube permaneció debajo de dicho umbral. La ecuación obtenida permitió lograr estimaciones de PCP a partir de valores de CCD. Asimismo, se analizaron los procesos de expansión y contracción de las nubes, de forma de definir factores de ajuste de las estimaciones logradas.

La validación de las estimaciones se realizó mediante un método que consiste en excluir un par de observaciones (CCD y registro pluviométrico de superficie) de la muestra y efectuar un análisis de regresión con el resto de las observaciones. La ecuación lograda es utilizada para estimar la precipitación excluida del análisis de regresión a partir del dato CCD también excluido del desarrollo de la ecuación de regresión. Este proceso se repitió para todos los pares de la muestra, de forma de obtener estimaciones de lluvia independientes para el control de la precisión de la técnica de estimación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evolución del desarrollo (expansión y contracción) de las nubes asociadas a la ocurrencia de la tormenta del 27/1/99 sobre el sur-centro del territorio provincial cordobés fue determinada a través de una secuencia de imágenes de VIS y CIR (figura 1). Puede apreciarse el desplazamiento de la tormenta en dirección SW a NE, indicado por el gris oscuro

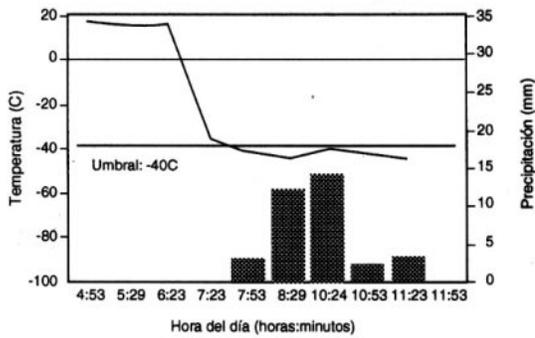


Figura 2. Variación de la temperatura de la nube y la precipitación registrada en Ferreyra, Córdoba el 27/1/99.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre CCD y PCP para distintos umbrales de temperatura y un total de doce tormentas analizadas para todas las localidades consideradas.

Umbrales térmicos	-10 °C	-20 °C	-30 °C	-40 °C	-50 °C	-60 °C
Coefficiente de correlación	0,79	0,86	0,90	0,93	0,71	0,39

ro que representa las zonas más elevadas de las nubes y por lo tanto las partes más frías de ellas.

Los resultados de las correlaciones entre CCD y PCP se presentan en la tabla 2. Los valores de CCD logrados para los distintos umbrales térmicos presentan correlaciones que varían entre 0,39 para el umbral de -60 °C y 0,93 para el umbral de -40 °C. El umbral térmico de -40 °C como base del comienzo de acumulación de CCD aparece como el más adecuado para las tormentas analizadas.

Las precipitaciones registradas en la localidad de Ferreyra y las temperaturas de la nube se pre-

sentan en la figura 2. El comienzo de las precipitaciones ocurre cuando la temperatura del tope de las nubes desciende a -40 °C, aproximadamente. Estas bajas temperaturas indican nubes de gran desarrollo vertical y, por lo tanto, una elevada probabilidad de que produzcan precipitaciones. Resulta evidente que las precipitaciones, para las condiciones de humedad relativa y agua precipitable en las tormentas analizadas, se intensifican a medida que se alcanza el umbral con temperaturas de -40 °C, y luego decrecen con temperaturas inferiores al umbral mencionado. Un umbral similar (-38 °C) fue utilizado por Arkin & Meisner (1987) para el método denominado GPI, que establece una precipitación de 3 mm por cada hora en que la temperatura permaneció en dicho nivel o por debajo de éste. En 1994, Arkin & Xie sugirieron mejorar el método mediante el uso de umbrales variables según la región geográfica. Dugdale

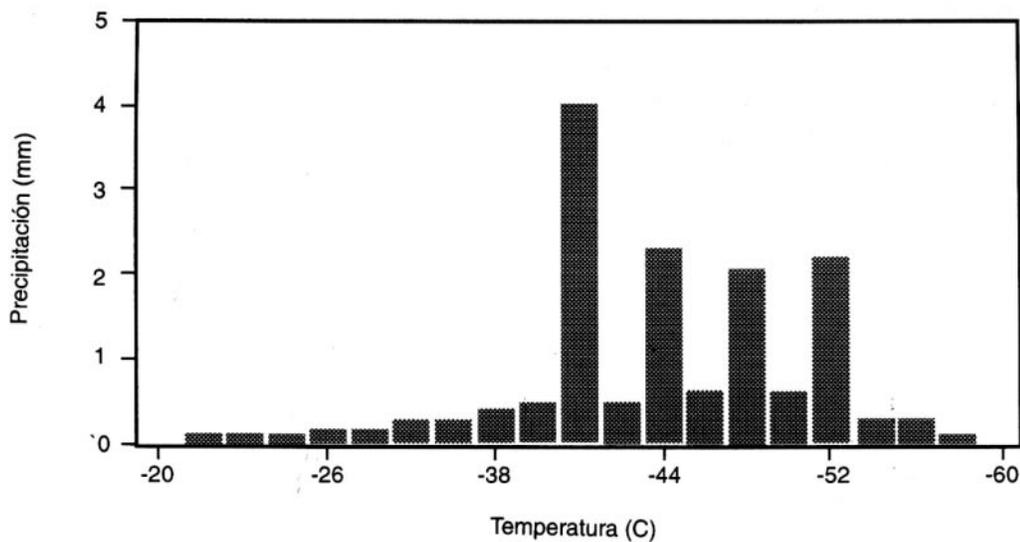


Figura 3. Relación entre la temperatura de la nube y el monto de las precipitaciones horarias en Olaeta, Córdoba para el 27/1/99.

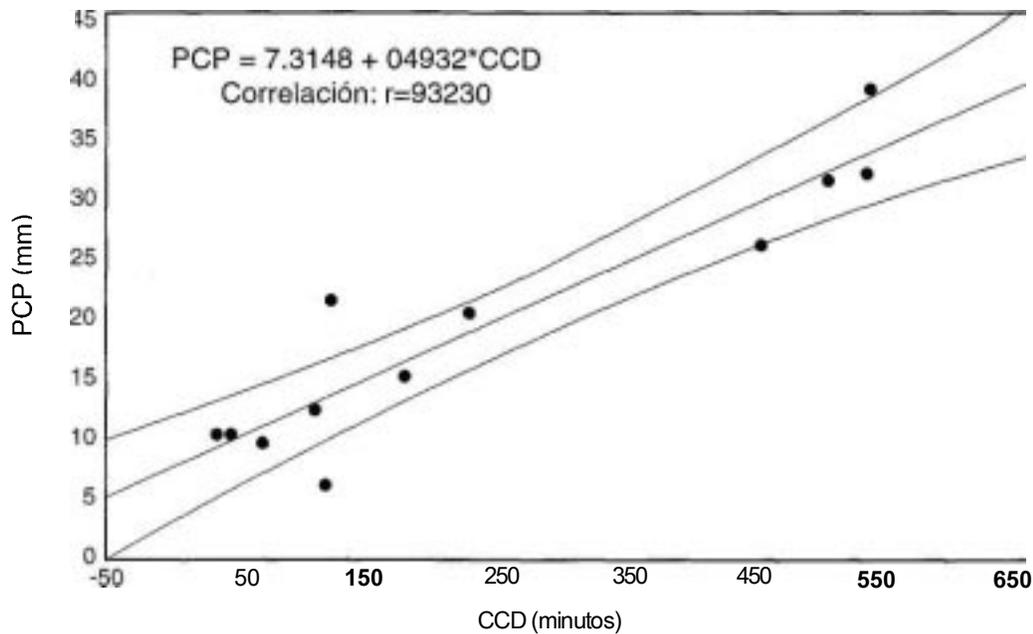


Figura 4. Relación entre la precipitación registrada durante la tormenta y el tiempo acumulado de temperaturas de las nubes iguales o inferiores a -40°C .

et al.(1991) establecieron tres umbrales (-40 , -50 y -60°C) para diferentes áreas geográficas del Sahel en África. En 1996, Vicente estableció una relación no lineal entre las precipitaciones y la temperatura de la nube para regiones de EE.UU.

Para la localidad de Olaeta, en el sur provincial, se analizó la relación entre la temperatura de la nube y las precipitaciones registradas para la misma tormenta (figura 3). Puede observarse que las precipitaciones comienzan aquí con temperaturas más elevadas (-28°C). Sin embargo, las mayores intensidades de lluvias se registraron igualmente para temperaturas de la nube entre -40 y -48°C . Para valores térmicos inferiores o superiores a dicho rango las precipitaciones son menores o nulas.

El umbral térmico podría ser aumentado o reducido si se estableciera cuantitativamente el efecto de la humedad relativa y el agua precipitable durante la ocurrencia de la tormenta (Scofield, 1987). Dichos ajustes son posibles de realizar en sistemas de recepción satelital que aseguren una disponibilidad continua de datos durante el seguimiento de las tormentas. Asimismo es posible realizar ponderaciones de las estimaciones según el tipo de nube, el desarrollo temporal y la estructura de las nubes precipitantes, de forma de reducir los

errores de estimación y describir más detalladamente el proceso de la precipitación. Las diferencias observadas en el umbral térmico de comienzo de las precipitaciones en Ferreira y en Olaeta pueden ser debidas a los diferentes contenidos de humedad atmosférica en ambas localidades durante la tormenta.

La figura 4 presenta la relación entre CCD para el umbral de -40°C y la precipitación observada. Esta relación permitió lograr una ecuación de regresión para la estimación de la precipitación a partir de los valores de CCD obtenidos del procesamiento de las imágenes satelitales durante el proceso de la tormenta. La figura 5 presenta la relación entre las precipitaciones observadas y las estimadas por la ecuación de regresión mencionada. Puede apreciarse que existe una estrecha relación entre los valores observados y estimados de las precipitaciones para cada tormenta. El error cuadrático medio es de $3,2\text{ mm}$ y las desviaciones estándar de las precipitaciones observadas y estimadas son de $9,7$ y $10,1$, respectivamente. No se registraron, para las tormentas analizadas, diferencias en los errores de estimación entre las localidades ubicadas en zonas llanas o serranas.

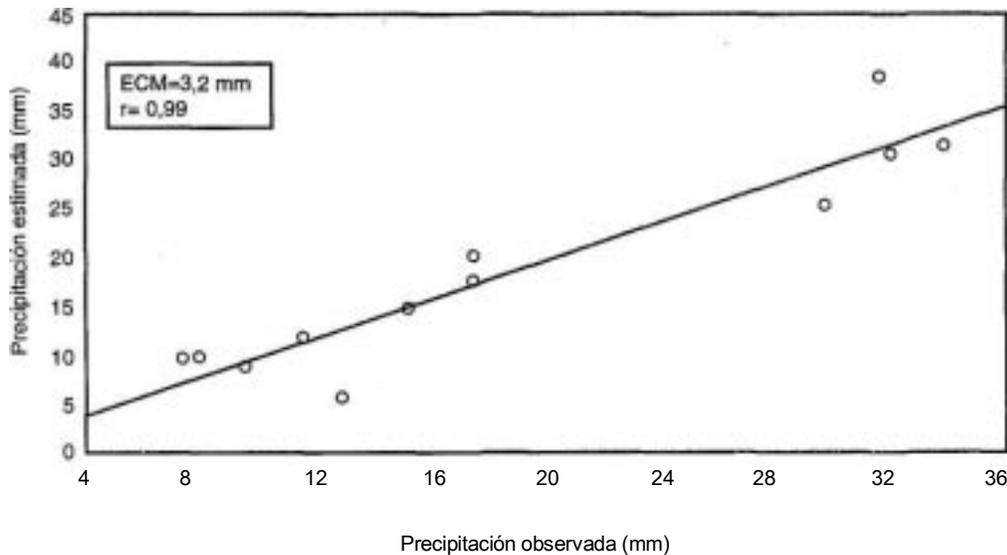


Figura 5. Relación entre la precipitación observada y estimada a partir de la información satelital de las tormentas analizadas. ECM: Error cuadrático medio de las estimaciones.

CONCLUSIONES

La metodología aplicada hace factible la estimación de las precipitaciones registradas durante tormentas convectivas mediante el uso de información satelital. Las estimaciones logradas usando un umbral de -40°C poseen un error cuadrático medio aceptable a los fines de su utilización en aplicaciones en agricultura.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. G. Vicente de NOAA/NESDIS/CAC por la provisión de las imágenes. A la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas (U.N. de Río Cuarto), al Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida (INA) y al Instituto de Fitopatología y Fisiología Vegetal (INTA) por la provisión de datos pluviométricos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adler, R.F. and A.J. Negri, 1988. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteor.*, 27:30-51.
- Adler, R.F., A.J. Negri, P.R. Keehn and I.M. Hakkarinen, 1993. Estimation of monthly rainfall over Japan and surrounding waters from a combination of low-orbit microwave and geosynchronous IR data. *J. Appl. Meteor.*, 32, 335-356.
- Arkin, P.A. and P.E. Ardanuy, 1989. Estimating climatic-scale precipitation from space: a review. *J. Climate*, 2:1229-1238.
- Arkin P.A. and B.N. Meisner, 1987. Spatial and annual variation in the diurnal cycle of large-scale tropical convective cloudiness and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 115:1009-1032.
- Arkin P.A. and P. Xie, 1994. The Global Precipitation Climatology Project: First algorithm intercomparison project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* /5:401-419.
- Arnaud, Y. et J.D. Taupin, 1993. Validation des algorithmes d'estimation des précipitations par satellite (EPSAT et TAMSAT). *Atelier Estimation des pluies par satellite*, Centre AGRHYMET, Niamey, Niger, 162-167.
- Callis, S.L. and W.L. Decker (Eds.), 1988. International workshop on satellite techniques for estimating precipitation. CIAM, University of Missouri. 227 pp.
- Desbois, M., 1993. Principes, limitations et perspectives des méthodes d'estimation des pluies par satellite. *Atelier Estimation des pluies par satellite*, Centre AGRHYMET, Niamey, Niger, 168-174.
- Drouet, J.L. et L. Cunin, 1993. Comparaison des trois méthodes d'estimation des pluies AGRHYMET, EPSAT et TAMSAT au cours de la saison 1993. *Atelier Estimation des pluies par satellite*, AGRHYMET, Niamey, Niger, 147-161.
- Dugdale, G..V.D. McDougalla nd J.R. Milford, 1991. Rainfall estimates in the Sahel from cold cloud statistics: accuracy and limitations of operational systems. *Proc. Niamey Workshop*. 65-74.

- Dugdale, G., 1992. The calibration of ARTEMIS satellite rainfall estimates. Consultants report GCP/INT/432/NET. FAO, Roma.
- Grassotti, G.C. and L. Garand, 1994. Classification-based rainfall estimation using satellite data and numerical forecast model fields. *J. Appl. Meteor.* 33, 159-178.
- Griffith, C.G., W.L. Woodley, P.G. Grube, D.W. Martin, J. Stout and D.N. Sikdar, 1978. Rain estimates from geosynchronous satellite imagery: Visible and infrared studies. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1153-1171.
- Herman, A., P.A. Arkin and D. Miskus, 1994. Ten-day rainfall estimates for the African Sahel using combination of high resolution METEOSAT infrared and raingauge data for the 1993 growing season. *Proc. 7th. Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, 206-214.
- King, P.W.S., W.D. Hogg and P.A. Arkin, 1995. A note on the relationship between satellite visible and infrared measurements and rain-rate. *J. Applied Meteor.*, 34:1608-1621.
- Ravelo, A.C., 1979. Evaluation of satellite rainfall estimates for Haiti. Edit. Univ. of Missouri / AID-OFDA. 18 pp.
- Scofield, R.A. and V.J. Oliver, 1977. A scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery. NOAA Tech. Memo. NESS 86. U.S. Dept. Commerce, Washington, DC, USA, 47 pp.
- Scofield, R.A., 1987. The NESDIS operational convective precipitation technique. *Mon. Wea. Rev.* 115(8):1773-1792.
- SMN, 1993. Estadísticas climatológicas 1981-1990. Servicio Meteorológico Nacional. 105 pp.
- Vicente, G.A., 1996. Algorithm for rainfall rate estimation using a combination of GOES-8 11.0 mm and 3.9 mm measurements. *Proc. Eighth Conf. On Satellite Meteor. And Ocean.* Atlanta Amer. Meteor. Soc. 274-278.