



## ESTIMACIÓN DE LLUVIAS MENSUALES DURANTE EL EVENTO EL NIÑO DÉBIL A MODERADO 2002

O. Fashé Raymundo <sup>a\*</sup> y J. Rojas Acuña <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Interdisciplinaria, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos Ap. Postal 14-0149, Lima 14, Perú.

### Abstract

The main objective of this paper is to estimate the monthly rainfall over Peru during EL NIÑO weak to moderate of the 2002 year. To make this GOES-8 satellite images and the convective stratiform technique are used. An analysis of the comparison between GOES-8 estimates and monthly rainfall gauges values is presented. It is observed that the monthly rain rate estimate over the Peruvian rain forest offers the best correlations. However the Peruvian mountain presents the minimum bias. An explanation is developed to these results making an analysis of the estimates of rain rate that diverse authors carry out in other latitudes.

PACS: 92.05.Df; 92.60.Iv; 07.87.+v; 92.40.eg

**Keywords:** Climatology, GOES-8 Satellite, EL NIÑO, Convective and Stratiform Rain, Convective Stratiform Technique.

### Resumen

El objetivo central de este artículo es la estimación de las lluvias mensuales sobre Perú durante EL NIÑO débil a moderado del año 2002. Para esto se utilizan imágenes del satélite GOES-8 y la técnica convectiva estratiforme. Se presentan un análisis de los resultados de la comparación entre los estimados GOES-8 y valores de lluvia mensual mediada en pluviómetros. Se observa que la estimación de la tasa de lluvia mensual sobre la selva peruana ofrecen las mejores correlaciones. Sin embargo es la sierra peruana la que presenta los mínimos errores de sesgo. Se desarrolla una explicación a estos resultados haciendo un análisis de estimaciones de tasa de lluvia que diversos autores realizan sobre otras latitudes.

**Palabras claves:** Climatología, Satélite GOES-8, EL NIÑO, Lluvia convectiva y estratiforme, Técnica Convectiva Estratiforme.

### 1. Introducción

Los datos de lluvia que son obtenidos al hacer un análisis de las imágenes de satélite, proveen de información importante a meteorólogos e hidrólogos, encargados de las alertas y prevención de desastres, especialmente cuando se observan muchos sistemas de tormenta configurándose simultáneamente. Por otra parte, la información que se obtiene de las lluvias es crítica para comprender el balance hidrológico sobre una escala global y en el entendimiento de las complejas interacciones entre las componentes dentro del ciclo hidrológico. El tema de la estimación mensual de las lluvias ha sido abordado por diversos autores. En 1994, Negri y col. [1] utilizan observaciones de microondas pasivas del

SMM/I (Special Sensor Microwave Imager) para el estudio de la climatología sobre distintas regiones del planeta, siendo de especial interés el análisis que realizan desde los Andes hasta el noreste de la costa brasileña. Adler y col. [2] realizan un análisis de la distribución de las lluvias tropicales utilizando imágenes del satélite TRMM. Negri y col. [3] desarrollan la climatología de las lluvias sobre la amazonia utilizando para ello imágenes de microondas del satélite SMM/I. Ba y Gruber [4] hacen uso de todas las bandas del GOES-8 y desarrollan un algoritmo multispectral para la estimación de lluvias sobre Norteamérica. Este trabajo presenta los mejores resultados en la estimación mensual de las lluvias sobre Norteamérica. El presenta trabajo muestra los

\* Corresponding author. e-mail: [ofasher@unmsm.edu.pe](mailto:ofasher@unmsm.edu.pe)

resultados obtenidos del análisis de las lluvias mensuales sobre Perú durante el evento EL NIÑO débil a moderado 2002. Los resultados más significativos son la alta correlación entre lluvia estimada con las imágenes GOES-8 y los pluviómetros sobre la selva peruana, y el error de sesgo mínimo obtenido en la sierra del Perú.

### 1. Marco Teórico.

Utilizamos la técnica convectiva estratiforme (Convective Stratiform Technique - CST) desarrollada por Adler y Negri [5] y recalibrada por Negri y col. [6] utilizando imágenes TMI del satélite TRMM coincidentes en el tiempo. El propósito de esta recalibración era permitir que la CST pueda reproducir exactamente la misma cantidad de lluvia que la calculada solamente por el TMI que utiliza para ello el algoritmo de perfiles Goddard (GPROF) [7]. Los parámetros de calibración permiten asignar un área de lluvia y una tasa de lluvia a píxeles de las imágenes infrarrojas GOES-8 que reportan un umbral de temperatura para lluvias que se clasifican como convectiva y estratiforme. Los umbrales utilizados son respectivamente son de 253 K para las lluvias convectivas y de 219 K para la lluvia estratiforme. Una detallada derivación de estos umbrales es descrita por Fashé [8].

### 2. Datos y Metodología.

#### Datos imágenes GOES-8

Los datos imágenes GOES-8 usados en el presente trabajo fueron proporcionados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el portal WEB de la Remote Sensing Data (RSD) de la NASA Goddard Space Flight Center (<http://rsd.gsfc.nasa.gov>).

#### Datos de pluviómetros

Los datos de pluviómetros utilizados pertenecen a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú (SENAMHI). Estos datos se obtuvieron de los boletines mensuales que esta institución brinda en forma gratuita a la comunidad de investigadores. Los datos de precipitación se presentan en mm/mes para los meses de enero, febrero y marzo del 2002 [9, 10, 11]. La Fig. 1 muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas. Del total de pluviómetros ubicados en 25 estaciones, 13 se encuentran sobre la sierra norte, centro y sur del Perú. Las 12 estaciones restantes se ubican sobre la selva norte y sur. La tabla 1 presenta la ubicación geográfica exacta de los pluviómetros.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas.

(<http://www.senamhi.gob.pe>)

| Código | Estación         | Latitud (°) | Longitud (°) | Altitud (m) |
|--------|------------------|-------------|--------------|-------------|
| Ag     | Aguaytia         | 9.0333      | 75.5000      | 338         |
| Au     | Aucayacu         | 8.6000      | 75.9333      | 600         |
| Ay     | Ayabaca          | 4.6333      | 79.7167      | 2700        |
| Ca     | Caballococha     | 3.9114      | 70.5119      | 107         |
| Ch     | Chivay           | 15.6378     | 71.5967      | 3633        |
| Co     | Contamáná        | 7.3522      | 75.0058      | 185         |
| Cu     | Cutervo          | 6.3783      | 78.8156      | 0           |
| Ep     | El Porvenir      | 6.5833      | 76.3167      | 230         |
| Hu     | Huamachuco       | 7.8167      | 78.0500      | 3200        |
| He     | Huancané         | 15.2014     | 69.7536      | 3890        |
| Hr     | Huarochiri       | 12.1333     | 76.2333      | 3154        |
| Hu     | Huaraz           | 9.5294      | 77.5367      | 3038        |
| Iq     | Iquitos          | 3.7500      | 73.2500      | 126         |
| Li     | Lircay           | 12.9817     | 74.7178      | 3150        |
| Pu     | Pucallpa         | 8.4000      | 74.5667      | 195         |
| Pm     | Puerto Maldonado | 12.5894     | 69.2050      | 256         |
| Qu     | Quillabamba      | 12.8558     | 72.6917      | 990         |
| Qi     | Quincemil        | 13.2233     | 70.7650      | 651         |
| Sr     | San Ramón        | 5.9333      | 76.0833      | 800         |
| Si     | Sicuaní          | 14.2533     | 71.2369      | 3574        |
| Ta     | Tambopata        | 14.2250     | 69.1622      | 1320        |
| Tr     | Tarma            | 11.3967     | 75.6900      | 3000        |
| Ub     | Ubinas           | 16.3822     | 70.8564      | 3370        |
| We     | Weberbauer       | 7.1667      | 78.5000      | 2536        |
| Yu     | Yungay           | 9.1497      | 77.7508      | 2537        |

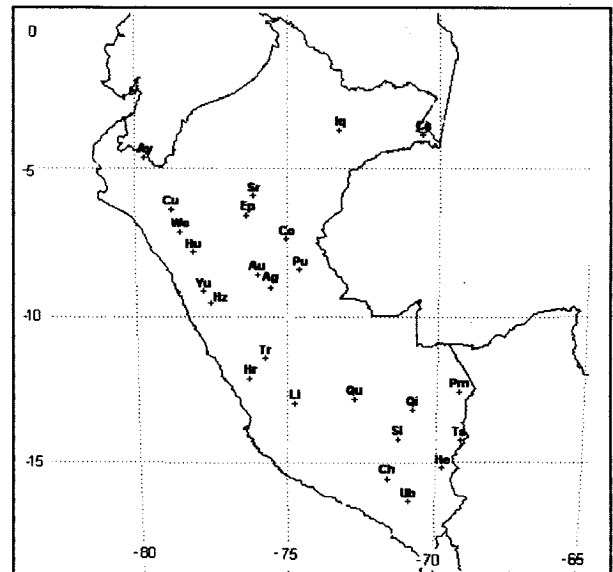


Fig. 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas.

(<http://www.senamhi.gob.pe>)

### 3. Resultados.

Las tasas de lluvia mensual estimadas usando el satélite GOES-8 son mostradas en las Fig. 2, 3 y 4 para enero, febrero y marzo del 2002, respectivamente. Se han utilizado un total de 1212 imágenes para enero, 791 imágenes para febrero y

968 imágenes para marzo. La tasa mensual de lluvia se calcula sin consideración de la variación diurna de las lluvias. Para la validación de los estimados se utilizan los registros de pluviómetros en 25 estaciones meteorológicas (tabla 1). Cada medida estadística se realiza sobre cuadrículas coincidentes con las posiciones de los pluviómetros y se muestran en las tablas 2, 3 y 4 de enero a marzo del 2002, respectivamente. Las tablas 5, 6 y 7 muestran el análisis realizado sobre cuadrículas que abarcan una caja de 3 x 3 píxeles alrededor de los pluviómetros (un área de 12 km x 12 km) para enero, febrero y marzo del 2002, respectivamente. El análisis de las tablas presentadas (tablas 2, 3 y 4) muestra que durante el periodo de estudio, la selva peruana obtiene los más altos valores de correlación. Siendo el más alto en febrero, con 0.92. Sin embargo es la sierra peruana la que durante este mismo periodo obtiene los mínimos errores de sesgo (BIAS).

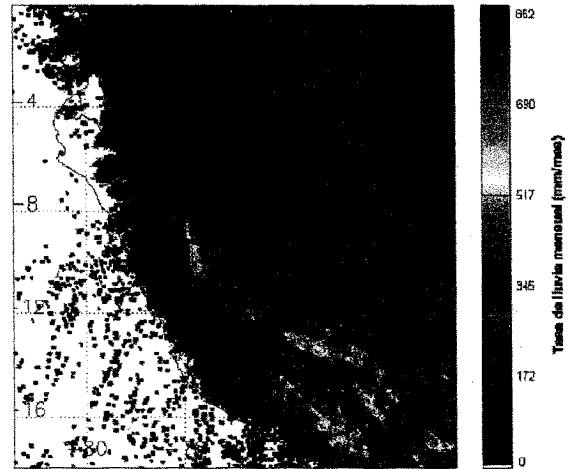


Fig. 3. Tasa de lluvia mensual para febrero del 2002.

Tabla 2. Análisis para el mes de enero del 2002 entre las mediciones en pluviómetros con los estimados por el GOES-8

|        | Media GOES8 (mm) | Media GAUGE (mm) | BIAS (mm) | RMSD (mm) | r     |
|--------|------------------|------------------|-----------|-----------|-------|
| Total  | 103.3            | 139.75           | -36.72    | 84.54     | 0.84  |
| Sierra | 49.61            | 51.75            | -2.14     | 61.10     | -0.01 |
| Selva  | 156.46           | 227.75           | -71.29    | 102.77    | 0.90  |

Tabla 4. Análisis para el mes de marzo del 2002 entre las mediciones en pluviómetros con los estimados con el GOES-8

|        | Media GOES8 (mm) | Media GAUGE (mm) | BIAS (mm) | RMSD (mm) | r    |
|--------|------------------|------------------|-----------|-----------|------|
| Total  | 168.06           | 202.52           | -34.46    | 135.55    | 0.38 |
| Sierra | 169.16           | 176              | -6.84     | 145.83    | 0.13 |
| Selva  | 166.86           | 231.45           | -64.60    | 123.37    | 0.70 |

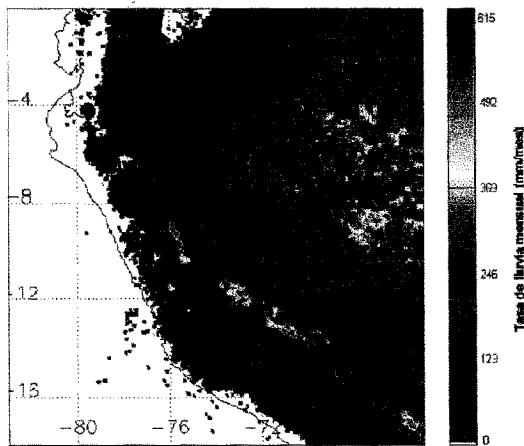


Fig. 2. Tasa de lluvia mensual para enero del 2002.

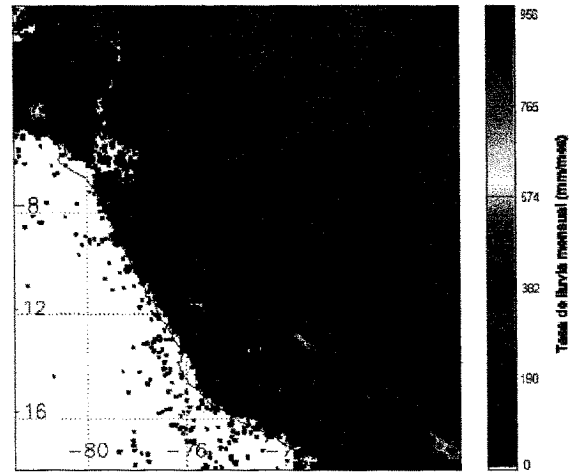


Fig. 4. Tasa de lluvia mensual para marzo del 2002.

Tabla 3. Análisis para el mes de febrero del 2002 entre las mediciones en pluviómetros con los estimados con el GOES-8

|        | Media GOES8 (mm) | Media GAUGE (mm) | BIAS (mm) | RMSD (mm) | r    |
|--------|------------------|------------------|-----------|-----------|------|
| Total  | 202.38           | 232.54           | -30.17    | 167.26    | 0.68 |
| Sierra | 166.22           | 139.50           | +26.72    | 168.41    | 0.22 |
| Selva  | 238.53           | 325.58           | -87.05    | 166.11    | 0.92 |

La Fig. 5 muestra las gráficas de dispersión entre los estimados de lluvia mensual con el satélite GOES-8 y las medidas en pluviómetros para los meses de enero, febrero y marzo del 2002. Juntamente con los valores medios de cada mes.

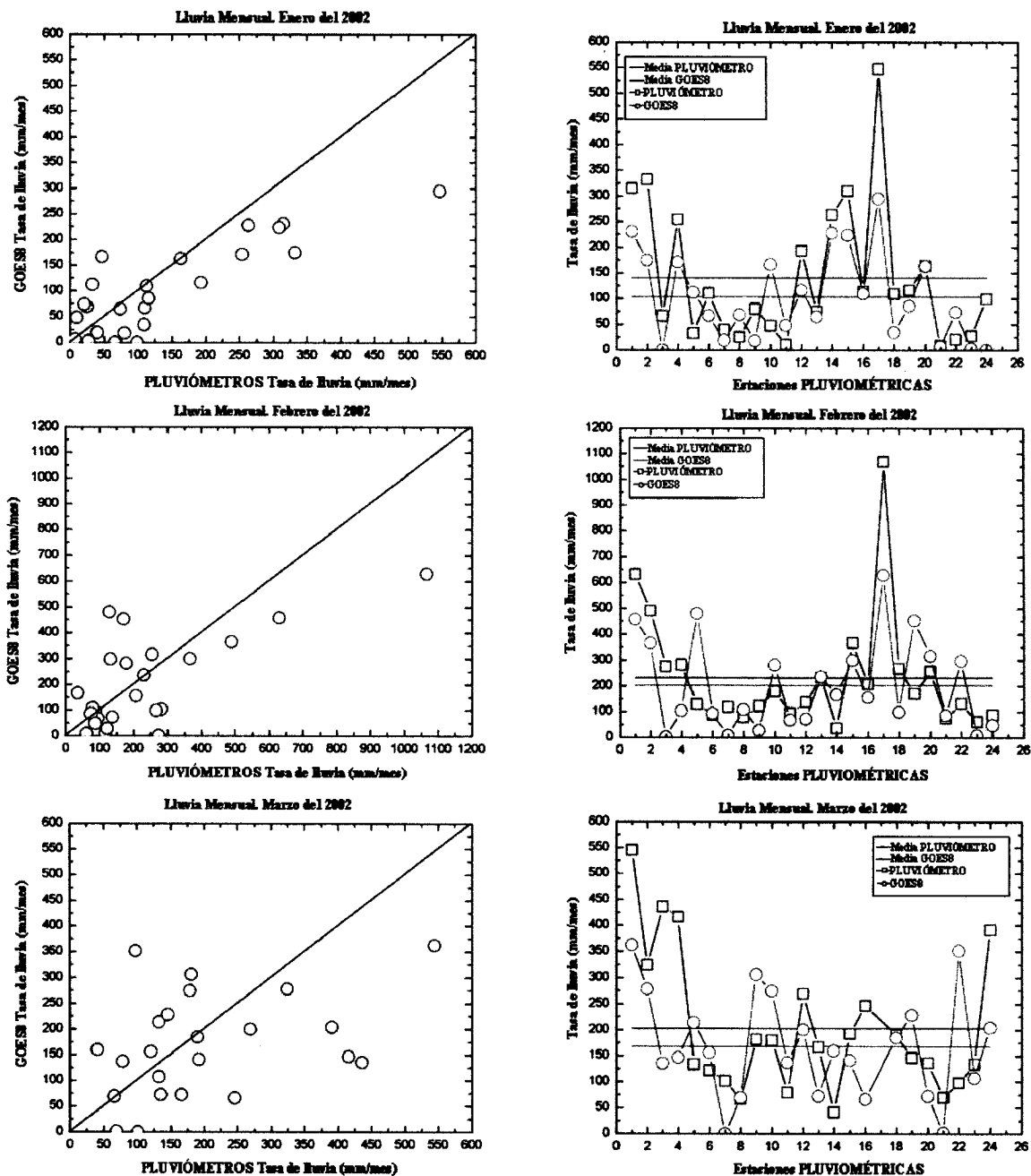


Fig. 5. Gráficas de dispersión entre la tasa de lluvia estimada por el GOES-8 y las medidas de pluviómetros para los meses de enero, febrero y marzo del 2002.

#### 4. Discusión.

En su estudio de climatología regional Negri y col. [12, 1] muestran la formación de líneas de chubascos en la región sur oriental de la cordillera de los Andes (Fig. 6). Estas líneas de chubascos son apropiadamente representadas en las Fig. 2, 3 y 4 para los meses de enero, febrero y marzo del 2002, respectivamente. Un compuesto de los meses de

verano (periodo de enero a marzo del 2002) muestra también estas líneas de chubascos (Fig. 7). La Fig. 8 elaborada por Negri [13] presenta de igual forma la presencia de estas líneas de chubascos, en un análisis de la tasa de lluvia media para el periodo de enero a marzo del 2000.

Los resultados muestran una buena representación de los estimados de lluvia mensual. Un análisis realizado por regiones presentan a la

selva peruana con las mejores correlaciones sobre el total de meses de verano (enero, febrero y marzo del 2002, tablas 8, 9 y 10). Ba y Gruber [4] realizan sobre Norteamérica análisis estadísticos entre los estimados de lluvia producidos por su algoritmo de lluvias multiespectral GOES (GMSRA) sobre cuadrículas de 12 km x 12 km, 0.5° x 0.5°, 1° x 1° y 2.5° x 2.5° alrededor de las estaciones pluviométricas y obtiene diversos valores de correlación dependiendo del tamaño de cuadrícula utilizado. Se observa que sobre el análisis diario y mensual de lluvias, cuanto más amplia es la cuadrícula mayores coeficientes de correlación se obtienen y disminuyen de igual manera sus errores de sesgo (BIAS). Vicente y col. [14] en su análisis de lluvias diarias sobre la región central de Norteamérica obtiene de forma similar altos coeficientes de correlación cuando utiliza cuadrículas de 100 km x 100 km, en lugar de cuadrículas menores de 12 km x 12 km y 48 km x 48 km.

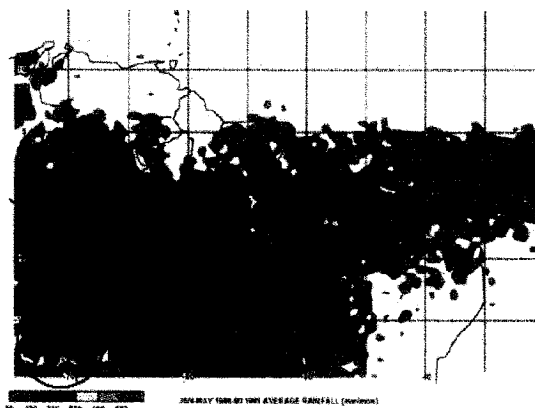


Fig. 6. Tasa de lluvia media estimada (mm/mes) sobre la Amazonia y el noreste de Brasil entre enero - mayo de 1989 - 1990 y 1992. [1]

Las tablas 5, 6 y 7 muestran el análisis de lluvia realizado sobre cuadrículas de 12 km x 12 km alrededor de las estaciones pluviométricas. En comparación a los análisis mostrados en las tablas 2, 3 y 4, se observa que en el mes de marzo el coeficiente de correlación en la selva peruana se incrementa de un 0.70 a un 0.75. El error de sesgo (BIAS) también se ve incrementado. Sobre los otros meses los valores de correlación disminuye y se mantiene invariante (enero y febrero, respectivamente). Si bien, la Fig. 9 muestra el análisis de las lluvias en el conjunto de meses de verano, se aprecia mejor la diferencia entre los estimados de la sierra y de la selva en las Fig. 10 y 11, donde se observa un mejor desempeño de la CST en la selva peruana.

Lo obtenido demuestra que la orografía es un factor importante para la correcta estimación de lluvia. Tanto Ba y Gruber [4] como Vicente y col.

[14] obtienen buenos resultados sobre regiones relativamente llanas en comparación a la orografía peruana, sobre la que se ha realizado el estudio mensual de lluvias.

Tabla 5. Análisis para el mes de enero del 2002 entre las mediciones en pluviómetros con los estimados por el GOES-8 considerando una caja de 3 píxeles x 3 píxeles (12 km x 12 km).

|        | BIAS<br>(mm) | RMSD<br>(mm) | r    |
|--------|--------------|--------------|------|
| Total  | -37.37       | 85.31        | 0.83 |
| Sierra | -2.83        | 60.88        | 0.01 |
| Selva  | -71.91       | 104.15       | 0.88 |

Tabla 6. Análisis para el mes de febrero del 2002 entre las mediciones en pluviómetros con los estimados con el GOES-8 considerando una caja de 3 píxeles x 3 píxeles (12 km x 12 km).

|        | BIAS<br>(mm) | RMSD<br>(mm) | r    |
|--------|--------------|--------------|------|
| Total  | -30.45       | 159.17       | 0.71 |
| Sierra | +22.08       | 158.57       | 0.22 |
| Selva  | -83.00       | 159.78       | 0.92 |

Tabla 7. Análisis para el mes de marzo del 2002 entre las mediciones en pluviómetros con los estimados con el GOES-8 considerando una caja de 3 píxeles x 3 píxeles (12 km x 12 km).

|        | BIAS<br>(mm) | RMSD<br>(mm) | r    |
|--------|--------------|--------------|------|
| Total  | -35.30       | 131.58       | 0.40 |
| Sierra | -6.33        | 142.27       | 0.10 |
| Selva  | -66.90       | 118.83       | 0.75 |

Tabla 8. Análisis de la tasa de lluvia mensual estimada con el GOES-8 y las mediciones en pluviómetros sobre todo el Perú.

| Enero, febrero y marzo 2002 | Media GAUGE (mm) | Media GOES8 (mm) | BIAS (mm) | RMSD (mm) | r    |
|-----------------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|------|
|                             | 191.45           | 157.68           | -33.77    | 133.51    | 0.67 |

Tabla 9. Análisis de la tasa de lluvia mensual estimada con el GOES-8 y las mediciones en pluviómetros en la sierra peruana.

| Enero, febrero y marzo 2002 | Media GAUGE (mm) | Media GOES8 (mm) | BIAS (mm) | RMSD (mm) | r    |
|-----------------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|------|
|                             | 122.42           | 128.33           | +5.91     | 133.37    | 0.34 |

Tabla 10. Análisis de la tasa de lluvia mensual estimada con el GOES-8 y las mediciones en pluviómetros en la selva peruana.

| Enero, febrero, y marzo 2002 | Media GAUGE (mm) | Media GOES8 (mm) | BIAS (mm) | RMSD (mm) | r    |
|------------------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|------|
|                              | 262.46           | 187.87           | -74.59    | 133.66    | 0.88 |

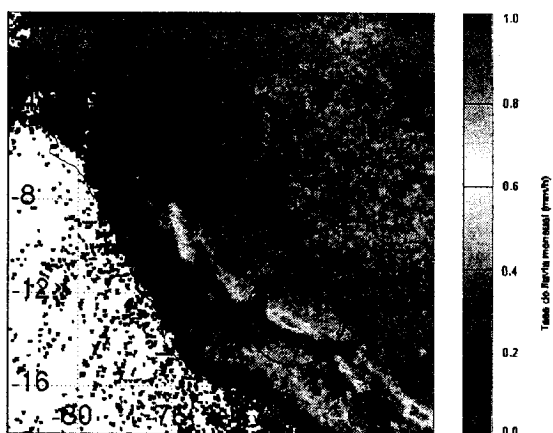


Fig. 7. Tasa media de lluvia estimada (mm/h) para el periodo de enero a marzo del 2002.

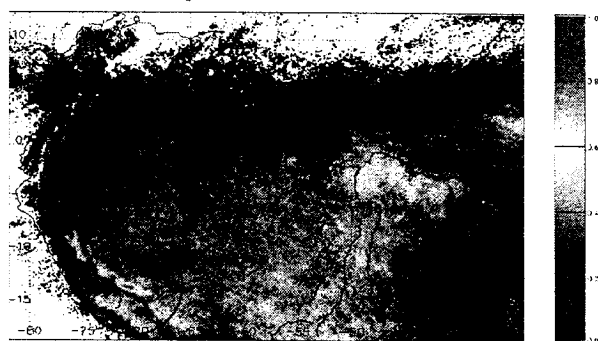


Fig. 8. Tasa media de lluvia estimada (mm/h) para el periodo de enero a marzo del 2000 utilizando la CST calibrada con el TRMM [13].

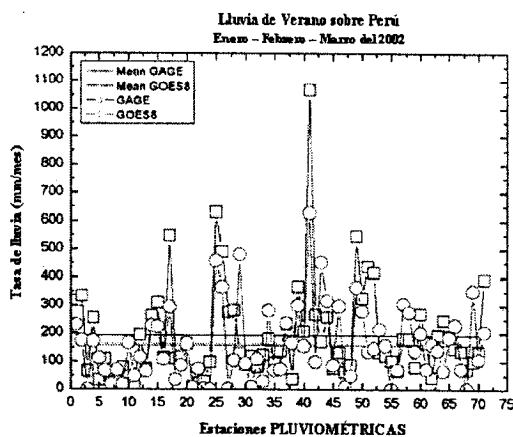
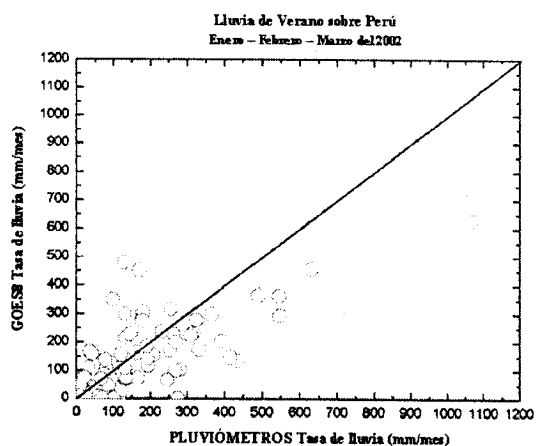


Fig. 9. Gráfico de dispersión entre la tasa de lluvia estimada por el GOES-8 y las medidas de pluviómetros durante el verano del 2002.

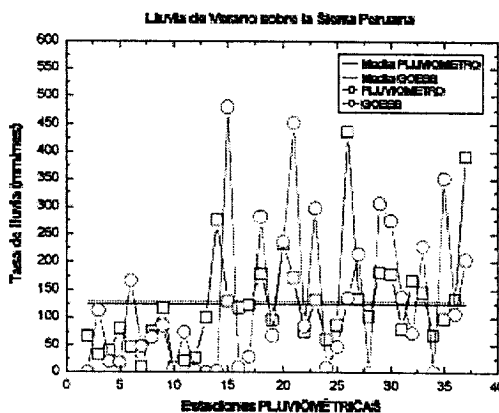
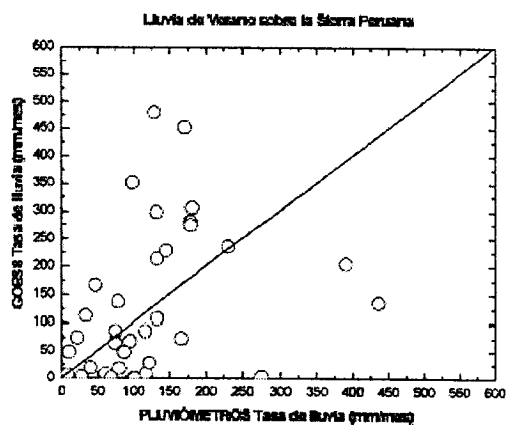


Fig. 10. Gráfico de dispersión entre la tasa de lluvia estimada por el GOES-8 y las medidas de pluviómetros sobre la sierra peruana durante el verano del 2002.

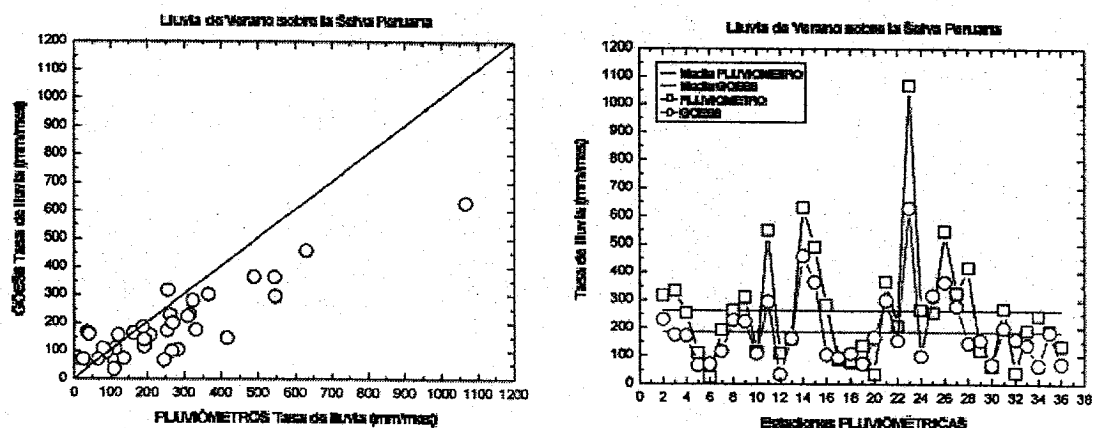


Fig. 11. Gráfico de dispersión entre la tasa de lluvia estimada por el GOES-8 y las medidas de pluviómetros sobre la selva peruana durante el verano del 2002.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

Se presentan los resultados del uso e implementación de la técnica convectiva estratiforme aplicadas al Perú, estimando la cantidad de lluvia para los meses de verano del 2002. La técnica utilizada presenta óptimos resultados al realizar análisis mensuales de lluvia entre estimados GOES-8 y posiciones puntuales de los pluviómetros y seleccionado cuadrículas alrededor de los mismos. Al analizar los aportes de lluvia por regiones, se observa que sobre la selva peruana una alta correlación. Sobre la sierra peruana se obtienen bajas correlaciones, sin embargo, es esta región la que presenta los mínimos valores de errores de sesgo (BIAS). Si bien los resultados obtenidos fueron realizados durante el verano, se puede plantear que la técnica convectiva estratiforme sea utilizada de manera que: sobre la región de la selva peruana, sirva para el análisis mensual de lluvias y estudios de climatología regional; y sobre la sierra peruana sirva para el desarrollo de un indicador que muestre la relación existente entre caudales mensuales de los ríos y las lluvias. También, en este trabajo no se ha desarrollado un análisis diario de las lluvias, por lo que se recomienda realizar un análisis diario de las lluvias estimadas y relacionarlos con los caudales en las cuencas de la sierra.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) del Perú, por el apoyo brindado. The authors wish also to thank to Andrew J. Negri from Laboratory for Atmospheres (NASA, GSFC), and to Dr. Liming Xu Department

of Hydrology and Water Resources (University Arizona) for providing the CST source code.

## Referencias

- [1]. A. J. Negri, R. F. Adler, E. J. Nelkin, G. J. Huffman, Bull. Amer. Meteor. Soc. **75**, (1994) 1165 – 1182.
- [2]. R. F. Adler, G. J. Huffman, D. T. Bolvin, S. Curtis, E. J. Nelkin, J. Appl. Meteor. **39**, (2000) 2007-2023.
- [3]. A. J. Negri, E. N. Anagnostou, R. F. Adler, J. Appl. Meteor., **39**, (2000) 42 – 56.
- [4]. M. B. Ba, and A. Gruber, J. Appl. Meteor. **40**, (2001) 1500 – 1514.
- [5]. R. F. Adler, A. J. Negri, J. Appl. Meteor., **27**, (1988) 30 – 51.
- [6]. A. J. Negri, L. Xu, R. F. Adler, J. Geoph. Res. **107** [D20], (2002) 8048-8062.
- [7]. C. Kummerow, L. Giglio, J. Appl. Meteor., **33**, (1994) 3 – 18.
- [8]. O. Fashé Raymundo, **Tesis de Maestría**, (2005) 98 pp.
- [9]. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú (SENAMHI), Año II, N° 1, (2002) Enero.
- [10]. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú (SENAMHI), Año II, N° 2, (2002) Febrero.
- [11]. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú (SENAMHI), Año II, N° 3, (2002) Marzo.
- [12]. A. J. Negri, E. N. Anagnostou, R. F. Adler, J. Appl. Meteor., **39**, (2000) 42 – 56.
- [13]. A. J. Negri, **Comunicación personal**, (2001).
- [14]. G. V. Vicente, R. A. Scofield, W. P. Menzel, Bull. Amer. Meteor. Soc., **79**, (1998) 1883 – 189