

Estimación de la tasa de lluvia sobre Perú durante el verano del 2002 usando imágenes de los satélites GOES-8 y TRMM

Octavio Fashé Raymundo ¹

Joel Rojas Acuña ¹

José Carlos Eche Llenque ¹

¹Laboratorio de Teledetección, Departamento de Física Interdisciplinaria, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos UNMSM. Apartado Postal 14-0149, Lima 14 – Perú. {ofasher, jrojasa, jechel}@unmsm.edu.pe

RESUMEN

El presente artículo muestra la tasa de lluvia mensual estimada a partir las imágenes infrarrojas (IR) térmicas del satélite GOES-8 sobre Perú durante el verano (Enero–Febrero–Marzo) del 2002 y se compara con las estimadas por el satélite TRMM. Utilizamos la Técnica Convectiva Estratiforme (CST) sobre imágenes IR GOES-8 (12 μm). El uso de esta técnica posibilita hallar los valores digitales mínimos en las imágenes del infrarrojo térmico. Este algoritmo permite determinar si esos valores tienen características convectivas, asignando un área de lluvia, y una cantidad de lluvia a dicha área. Seguidamente, se define un área de lluvia estratiforme, y se asigna una cantidad de lluvia pequeña a aquellos píxeles que tienen temperatura de brillo más bajo que un umbral IR estratiforme y que no han sido asignados como lluvia convectiva. Presentamos el análisis entre los datos estimados con el GOES-8 con los datos del producto TRMM level 3, Algoritmo 3B43. Para conseguir esto se utiliza un total de 105 posiciones, con una distribución de 46 posiciones sobre la sierra peruana y 59 posiciones sobre la selva peruana. La mas alta correlación (0.87) fue obtenida para febrero del 2002 sobre la sierra peruana , con una desviación (BIAS) de +48.8% con respecto a la media medida por el TRMM.

ABSTRACT

This paper presents the monthly rain rate estimation over Peru using GOES-8 infrared images (IR) during the 2002 summer (January - February - March) and make a comparison with TRMM satellite estimated. We use the Convective Stratiform Technique (CST) on IR GOES-8 (12 μm) images. This technique makes possible to find the minima digital values on IR images. The used algorithm allows determining if these values have convective features, then assigns a rain area and rain rate to this area. Next, a stratiform rain area is defined, and a lower rain rate is assigned to those could pixels colder than the stratiform IR threshold and not previously assigned convective rain. We present an analysis between these GOES-8 estimates with the TRMM LEVEL 3 product (Algorithm 3B43). For this, we use 105 points over TRMM image, with 46 points over the Andean Mountain and 59 points over the Peruvian Rainforest. The best correlation (0.87) was obtained in February 2002 over the Andean mountains, with an BIAS equal +48.8 % of the TRMM mean. We show the results to the total points for all the summer.

KEY WORDS: Remote sensing, Convective Rain, Stratiform Rain, Infrared Image, Adean Mountains, Rainforest Perú.

1. Introducción

La estimación de la cantidad de lluvia, en una región de interés o estudio, usando imágenes de satélites es de suma importancia para los estudios de meteorología, hidrología, climatología de lluvias, etc. Esta información 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. La información de las lluvias es especialmente importante en los trópicos, debido a que una gran fracción de la lluvia que cae sobre el planeta

en las latitudes bajas y están relacionadas a eventos climáticos como El Niño y la Oscilación Sur (ENSO) (Curtis y et al. 2002, Adler y et al. 2000, Curtis S. y R. Adler, 2000). Mas aún, nuestro conocimiento de la lluvia en los trópicos es limitado a que las observaciones convencionales son escasas.

En dicho contexto, son diversos los trabajos de investigación que usan métodos para estimar la cantidad de lluvia haciendo uso de datos imágenes de satélites (Adler et al., 2000, Negri et al., Olson et al, 2001). Para dicho propósito se han hecho uso de técnicas que utilizan las bandas infrarrojas, las microondas y aquellas que utilizan datos de radar. Ejemplos de estos trabajos son los propuestos por Vicente et al. (1998) en el que presentan una técnica de estimación de lluvias con datos de la banda infrarroja del satélite GOES-8, factores de corrección de humedad, crecimiento de nubes y un gradiente de temperatura en la cima de las nubes. Los Métodos que hacen uso de redes neuronales también son usados para estos fines; Bellerby et al. (2000) describen la técnica que utiliza una combinación de radar, datos infrarrojos y redes neuronales para los estimados de lluvia sobre Brasil. Los estudios de la estimación de la cantidad de lluvia sobre Perú han sido realizados por algunos científicos (Bendix, 2000), como parte de los estudios relacionados con el Fenómeno El Niño y estudios de la variabilidad diurna de las lluvias sobre la cuenca del Amazonas (Negri et al., 2002), siendo este el trabajo en el que se usó la Técnica Convectiva Estratiforme (Convective Stratiform Technique, CST) desarrollada, por Adler y Negri (1988), posteriormente calibrada con datos del satélite TRMM (Negri et al., 2002). Esta técnica utiliza dos tipos de tasas de lluvia, una asigna una determinada cantidad de lluvia que es asociada con lluvia convectiva y la otra con lluvia estratiforme lo cual hace que, la misma, resulte simple y eficiente.

En el presente trabajo, se utilizaron los datos imágenes del satélite geoestacionario GOES-8, las que fueron proporcionadas por el Instituto Geofísico del Perú y otros del archivo de Remote Sensing Data (RSD) de la NASA – Goddard Space Flight Center (GSFC). Para el análisis de los estimados de lluvia, se utilizan imágenes producto TRMM level 3 (algoritmo 3B43) que fueron obtenidas en forma gratuita de la Goddard Distributed Active Archive Center (GDAAC) en el periodo de Enero a Marzo del 2002. Los resultados muestran que las altas correlaciones mensuales entre los estimados con el GOES-8 y los productos TRMM coinciden en la sierra peruana en el mes de Febrero del 2002 con un bias que representa el +48.8 % del valor medio estimada con el TRMM. De estos resultados se observa que la región de la sierra peruana, durante los meses de estudio, presenta los menores bias.

2. Región de estudio, datos y metodología

La región de estudio se encuentra sobre Perú en las coordenadas geográficas de 0° a -18.7 latitud y -83.90° a -64.72° longitud. El presente trabajo utiliza datos imágenes de la banda 4 del satélite GOES-8, que tiene una resolución espacial de 4 km x 4 km en el nadir y una intervalo espectral de 10.20 a 11.20 μm . La resolución temporal permite la obtención de una imagen cada 30 minutos sobre Perú. Estos datos imágenes pertenecen a los meses de verano del 2002. Los datos imágenes TRMM (algoritmo 3B43) presentan una resolución espacial de 1° x 1° (110 km), y se encuentra empaquetado en el formato HDF. Estos datos imágenes pertenecen a los meses de Enero, Febrero y Marzo del 2002.

El algoritmo desarrollado por Adler y Negri (1988), modificado por Negri et al. (2002), utiliza un proceso de recalibración entre los parámetros de la técnica original (Técnica Convectiva Estratiforme, Convective Stratiform Technique - CST) con los estimados de lluvia coincidentes, derivados de la aplicación del algoritmo Goddard Profiling (GPROF) (Kummerow y Giglio, 1994) a datos de temperatura de brillo del sensor TMI a bordo del

satélite TRMM. El objetivo de la recalibración fue determinar los parámetros de manera que la CST fuera capaz de reproducir el volumen total de lluvia, el área de lluvia, y la división entre lluvia convectiva y estratiforme observada por el TMI. Negri (2002), usó un algoritmo modificado para la separación entre lluvia convectiva y estratiforme para el GPROF (Olson et al., 2001). La calibración fue aplicada sólo sobre Sudamérica, desde 12° N hasta 18° S y desde 82° W hasta 34° E. El ajuste del CST se realizó sobre una base estadística en un periodo de cuatros meses de calibración (Enero a Abril de 1999), sin restricciones explícitas en el estimado instantáneo de lluvia. La recalibración toma la siguiente forma:

- Determinación de centros convectivos sobre las imágenes digitales: Negri (Negri et al., 2002), identificó los puntos o píxeles de temperatura local mínima (T_{min}) para luego calcular la desviación de la T_{min} con respecto a la temperatura de fondo (definida como la temperatura promedio de los ocho píxeles circundantes al T_{min}).
- Determinación del área de la lluvia convectiva asignada a cada T_{min} : Como parte de la recalibración Negri cálculo la constante de proporcionalidad α entre el área convectiva total hecha por los datos TMI y el parámetro $\Sigma(T_{nube} - T_{min})$ (Negri et al., 2002). Dado un T_{min} convectivo, $\alpha \cdot (T_{nube} - T_{min})$ es el número de píxeles para los que se asigna una tasa de lluvia convectiva centrada en T_{min} . El umbral comúnmente usado para las nubes convectivas es $T_{nube} = 253$ K (Adler y Negri, 1988; Negri et al., 1984). Considerando el área de lluvia determinada de los estimados de área convectivo con el TRMM, $\alpha = 0.61$. Por ejemplo, para $T_{min} = 203$ serían asignados 32 píxeles (4 km por 4 km) a la tasa de lluvia convectiva.
- Determinación de la tasa promedio de lluvias convectivas: Negri, estableció una tasa de lluvia convectiva de 18.9 mm h^{-1} que es igual a la obtenida por el algoritmo GPROF (Negri et al., 2002; Olson et al., 2001). Esto permite que el total del volumen de lluvia convectiva derivada del CST/TMI sea igual a la calculada por sólo por el TMI.
- Determinación de la temperatura umbral para definir el área de lluvia estratiforme: Se escoge un umbral de tal manera que la temperatura de brillo total de nubes sea mas fría que dicho umbral (excluyendo a aquellos píxeles ya asignados como lluvia convectiva) el cual es igual al área de lluvia estratiforme obtenida por la TMI/GPROF (Olson et al., 2001). Este umbral es igual a 219 K (Negri et al., 2002).
- Determinación de la tasa promedio de la lluvia estratiforme: Como en el caso de la determinación de la tasa promedio de la lluvia convectiva, se usa el valor calculado por la TMI/GPROF (Olson et al., 2001) para la tasa promedio de la lluvia estratiforme que es 2.6 mm/h (Negri et al., 2002).

Para el análisis de las estimaciones de la tasa de lluvia de los meses de verano del 2002, se han utilizado 1212 imágenes para enero, 791 imágenes para Febrero y 968 imágenes para marzo. La tasa de lluvia mensual se calcula sin consideración de la variación diurna de las lluvias. Las mediciones estadísticas usadas para comparar los estimados de tasa de lluvia mensual realizadas con las imágenes IR GOES-8 contra los datos imágenes TRMM, son la lluvia promedio medida en pluviómetros, la lluvia promedio estimada con satélite, el error de sesgo (**BIAS**), el root mean square deviation (**RMSD**) y el coeficiente de correlación (**r**). Cada medida estadística se realiza sobre los estimados de lluvia usando imágenes TRMM de $1^\circ \times 1^\circ$ y los estimados GOES-8 (28×28 píxeles $\approx 112 \text{ km} \times 112 \text{ km} \approx 1^\circ \times 1^\circ$). Para estos resultados se han usado un total de 150 posiciones puntos de la imagen TRMM sobre el Perú, estando 59 posiciones distribuidas sobre la selva peruana y 46 posiciones sobre la sierra peruana.

3. Resultados

La **Figura 1** muestra en forma secuencial las tasas de lluvia mensual para Enero, Febrero y Marzo del 2002. Se puede apreciar la formación de líneas de chubascos (squall lines) a través de la cordillera sur de los andes peruanos. Estas fueron reportadas por Negri (Negri et al., 2002) como parte de su estudio del ciclo diario de las lluvias sobre la amazonía. De igual manera, estas líneas de chubascos son observadas por Negri, (Negri et al., 2000; Negri et al., 1994) como parte de un análisis de la climatología regional sudamericana y un estudio de 10 años de la lluvia sobre la amazonía utilizando datos del SMM/I.

La **Figura 2** muestra la tasa de lluvia mensual TRMM usando el algoritmo 3B43 para el verano del 2002. El análisis estadístico entre la tasa de lluvia obtenidos con GOES-8 y con el TRMM se muestran en las **Tablas 1, 2 y 3** para los meses de Enero, Febrero y Marzo respectivamente. La mas alta correlación (0.87) entre los estimados por el GOES-8 y los estimados con el TRMM lo presenta la selva en el mes de Febrero con un BIAS que representa el +48.8 % de la lluvia estimada por el TRMM.

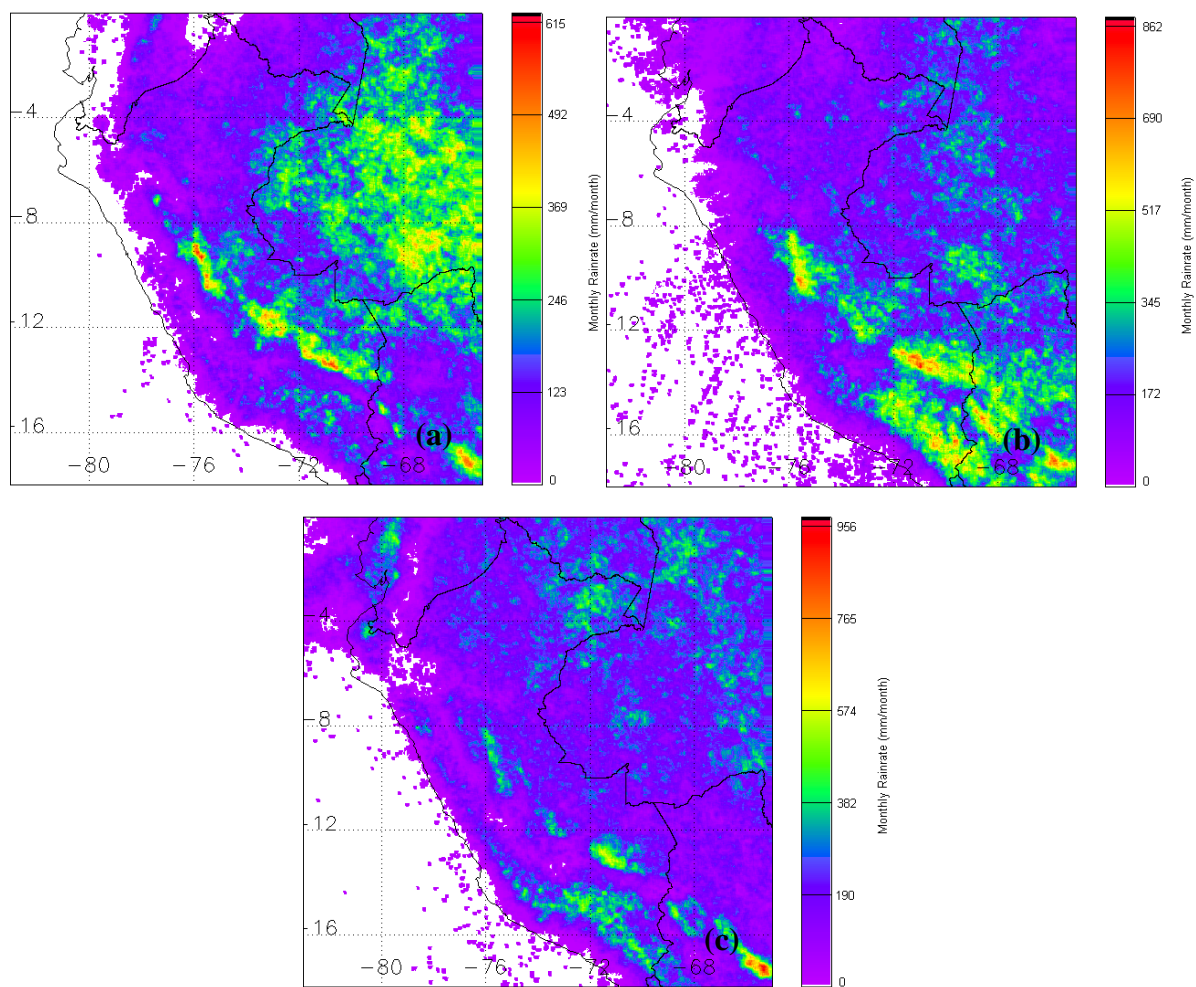


Figura 1. Tasa de lluvia mensual (mm/mes) para (a) Enero, (b) Febrero y (c) Marzo del 2002.

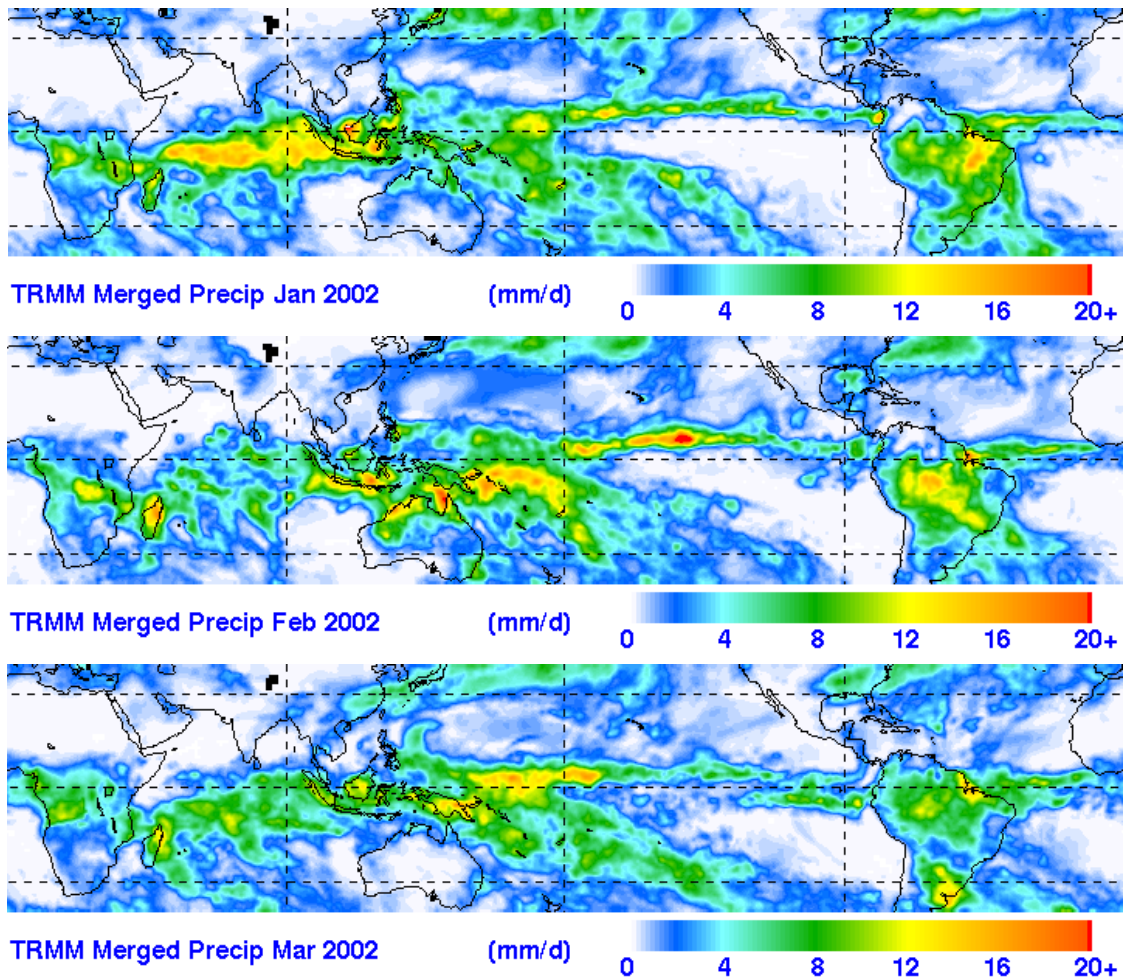


Figura 2. Precipitación estimada por el TRMM en mm/día para Enero, Febrero y Marzo del 2002. Algoritmo 3B43. (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>)

Tabla 1. Análisis para el mes de enero del 2002
TRMM - GOES-8

	Mean GOES8 (mm)	Mean TRMM (mm)	BIAS (mm)	RMSD (mm)	r
Total	110.44	77.61	32.82	82.24	0.25
Sierra	81.15	37.27	43.88	72.37	0.47
Selva	133.27	109.07	24.20	89.15	-0.28

Tabla 2. Análisis para el mes de febrero del 2002
TRMM - GOES-8

	Mean GOES8 (mm)	Mean TRMM (mm)	BIAS (mm)	RMSD (mm)	r
Total	177.03	148.27	28.75	84.18	0.69
Sierra	168.07	112.94	55.13	98.99	0.87
Selva	184.01	175.82	8.19	70.50	0.54

Tabla 3. Análisis para el mes de marzo del 2002
TRMM - GOES-8

	Mean GOES8 (mm)	Mean TRMM (mm)	BIAS (mm)	RMSD (mm)	r
Total	178.55	131.58	46.96	73.79	0.67
Sierra	147.78	92.99	54.79	92.29	0.53
Selva	202.54	161.67	40.87	55.22	0.75

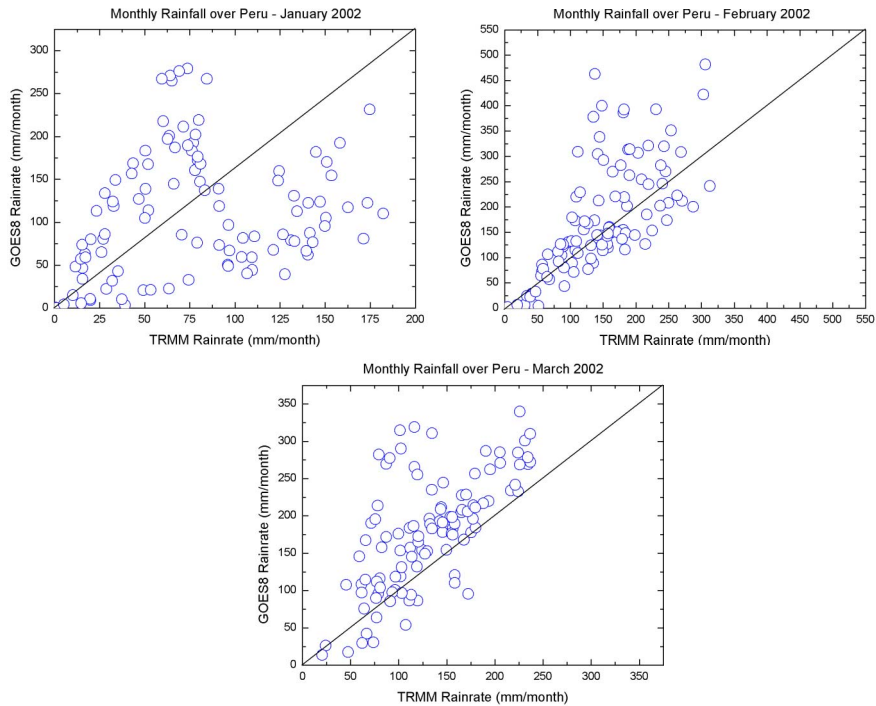


Figura 3. Gráficos de dispersión entre los estimados de lluvia realizados con GOES-8 y los estimados con el TRMM para Enero del 2002.

De los resultados mostrados en las **Tablas 2 y 3** se puede observar que en conjunto, los meses de febrero y marzo obtienen las mejores correlaciones. Esto se evidencia en los gráficos de la **Figura 3**.

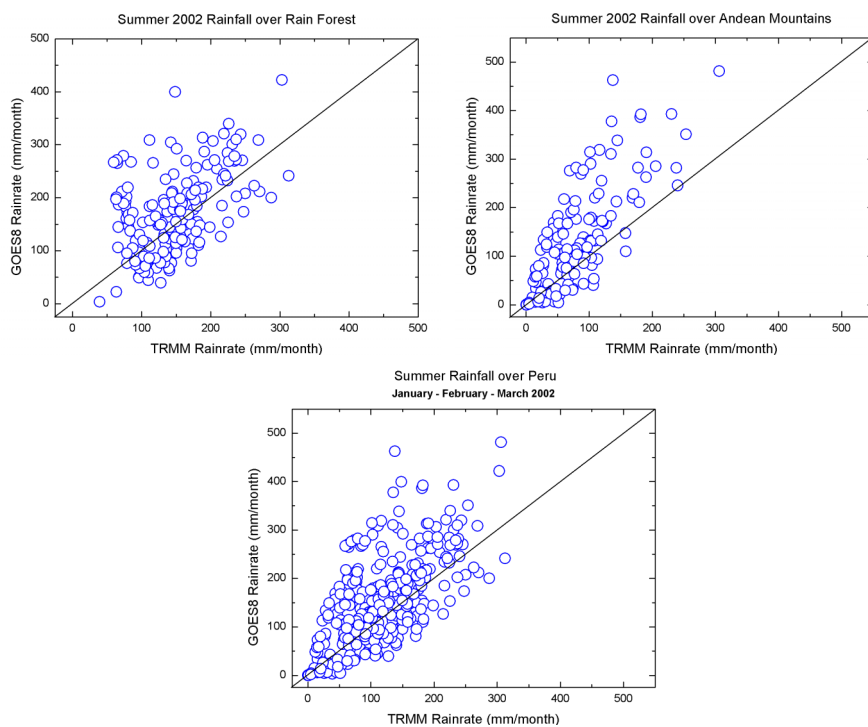


Figura 4. Gráficas de dispersión para el verano del 2002. Se muestran las correspondientes dispersiones en la sierra y selva

La **Figura 4** muestra la dispersión sobre el total de meses de verano (Enero, Febrero y Marzo) entre las tasas de lluvia GOES-8 con las correspondientes al TRMM. Un análisis de los datos muestra que la mas alta correlación se obtiene para la sierra peruana con un 0.77 y un BIAS igual a 51.26 (mm), que representa un 63.23% con respecto a la tasa de lluvia estimada por el TRMM.

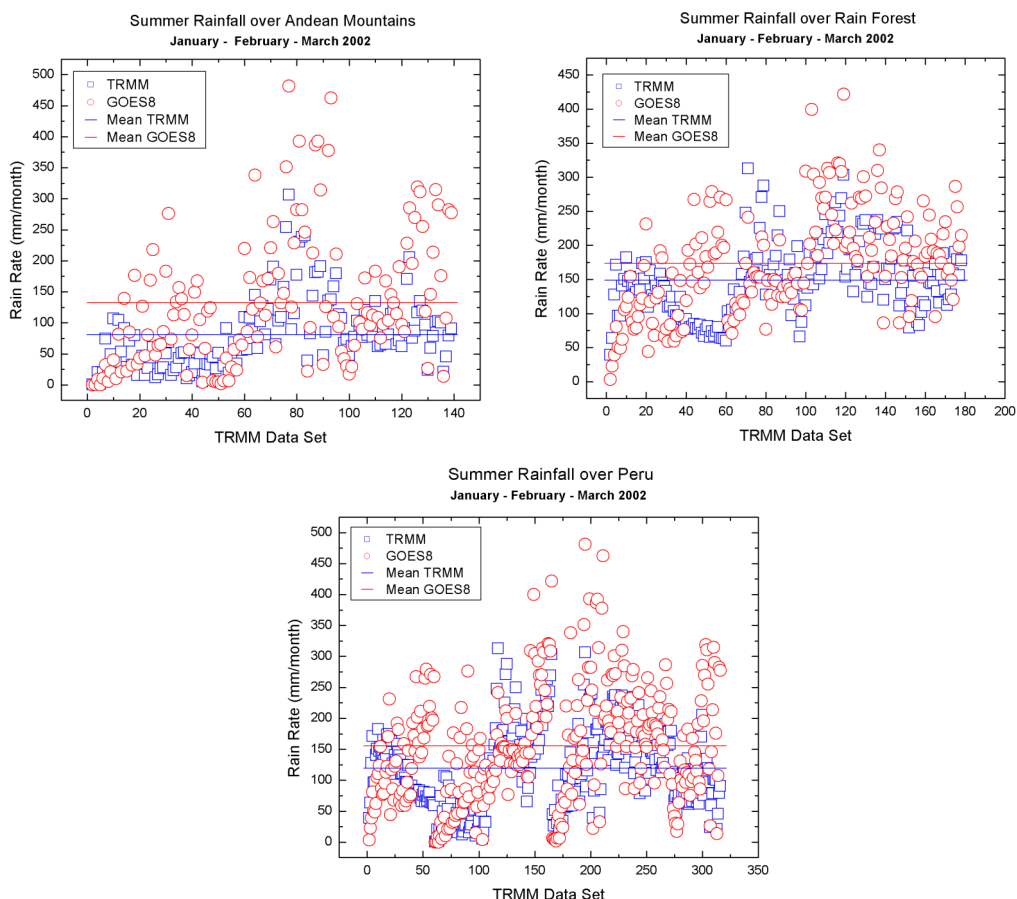


Figura 5. Tasa mensual de lluvia estimada durante el verano del 2002 para la sierra y selva Peruana. Se muestran los valores medios para cada caso.

La **Figura 5**, muestra que el menor bias se encuentra en el conjunto de datos de la selva peruana siendo 24.42 (mm), que representa el +16.4% de la media TRMM. Sin embargo, para el periodo total (Enero, Febrero y Marzo - EFM) es la sierra peruana la que ofrece la mejor correlación (0.77). La **Tabla 4** resume los cálculos realizados.

Tabla 4. Análisis realizado sobre el verano del 2002

	Mean GOES8 (mm)	Mean TRMM (mm)	BIAS (mm)	RMSD (mm)	r
Total (EFM)	155.34	119.15	36.18	80.20	0.66
Sierra (EFM)	132.33	81.06	51.26	88.61	0.77
Selva (EFM)	173.27	148.85	24.42	72.97	0.47

4. Conclusiones

Se ha implementado eficientemente la Técnica Convectiva Estratiforme (CST) para su aplicación a imágenes IR GOES-8 sobre Perú, durante los meses de verano 2002. Un análisis de las tasas de lluvia mensuales estimadas con el GOES-8 y las estimaciones TRMM muestran que la región de la sierra peruana, durante los tres meses de estudio, presenta las mejores correlaciones; mientras que la selva peruana muestra los menores errores de sesgo (BIAS).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) del Perú, por el apoyo brindado a esta investigación. 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.

Bibliografía

Adler, R. F.; Huffman, G. J.; Bolvin, D. T.; Curtis, S.; Nelkin, E. J. Tropical rainfall distributions determined using TRMM combined with other satellite and rain gauge information. **Journal Applied Meteorology**, 39, 2007-2023, 2000.

Adler, R. F.; Negri, A. J. A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. **Journal Applied Meteorology**, 27, 30-51, 1988.

Bellerby, T.; Todd, M.; Kniveton, D.; Kidd, C. Rainfall Estimation from a combination of TRMM precipitation radar and GOES multispectral satellite imagery through the use of an artificial neural network. **Journal Applied Meteorology**, 39, 2115-2128, 2000.

Bendix, J. Precipitation dynamics in Ecuador and northern Peru during the 1991/92 El Niño: a remote sensing perspective. **International Journal of Remote Sensing**, 21, 533-548, 2000.

Curtis, S.; Huffman, G. J.; Adler, R. F. Precipitation anomalies in the tropical Indian Ocean and their relation to the initiation of El Niño. **Geophysical Research Letters**, 29 (10), 1441, doi:10.1029/2001 GL013399, 2002.

Curtis, S.; Adler, R. F. ENSO indices based on patterns of satellite - derived precipitation. **Journal of Climate**, 13, 15, 2786-2793, 2000.

Kummerow, C.; Giglio, L. A passive microwave technique for estimating rainfall and vertical structure information from space, Part I: algorithm description. **Journal Applied Meteorology**, 33, 3-18, 1994.

Negri, A. J.; Xu, L.; Adler, R. F. A TRMM-Calibrated infrared rainfall algorithm applied over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, 107 [D20], 8048-8062, 2002.

Negri, A. J.; Anagnostou, E. N.; Adler, R. F. A 10-yr climatology of Amazonian rainfall derived from passive microwave satellite observations. **Journal Applied Meteorology**, 39, 42 – 56, 2000.

Negri, A. J.; Adler, R. F.; Nelkin, E. J.; Huffman, G. J. Regional rainfall climatologies derived from special sensor microwave imager (SSM/I) data. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 75, 1165 – 1182, 1994

Negri, A. J.; Adler, R. F.; Wetzel, P. J. Rain estimation from satellites: An examination of the Griffith–Woodley technique, **Journal of Climate Applied Meteorology**, 23, 102-116, 1984.

Olson, W. S.; Hong, Y.; Kummerow, C. D.; Turk, J. A texture-Polarization method for estimating Convective/Stratiform precipitation area coverage from passive microwave radiometer data. **Journal Applied Meteorology**, 40, 9, 1577-1591, 2001.

Vicente, G. V., Scofield, R. A.; Menzel, W. P. The operational GOES infrared rainfall estimation technique. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 79, 1883-1898, 1998.