



PERÚ

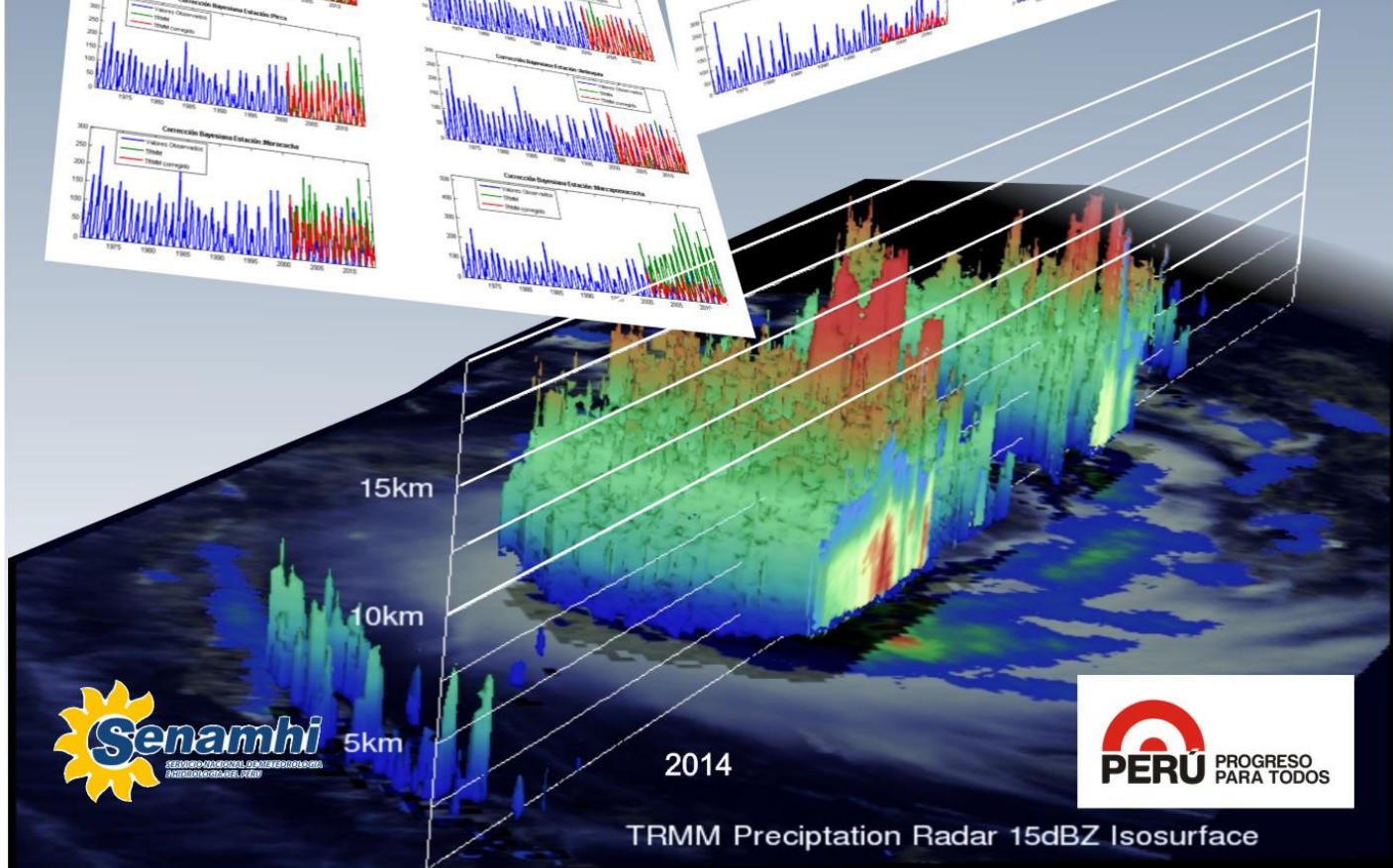
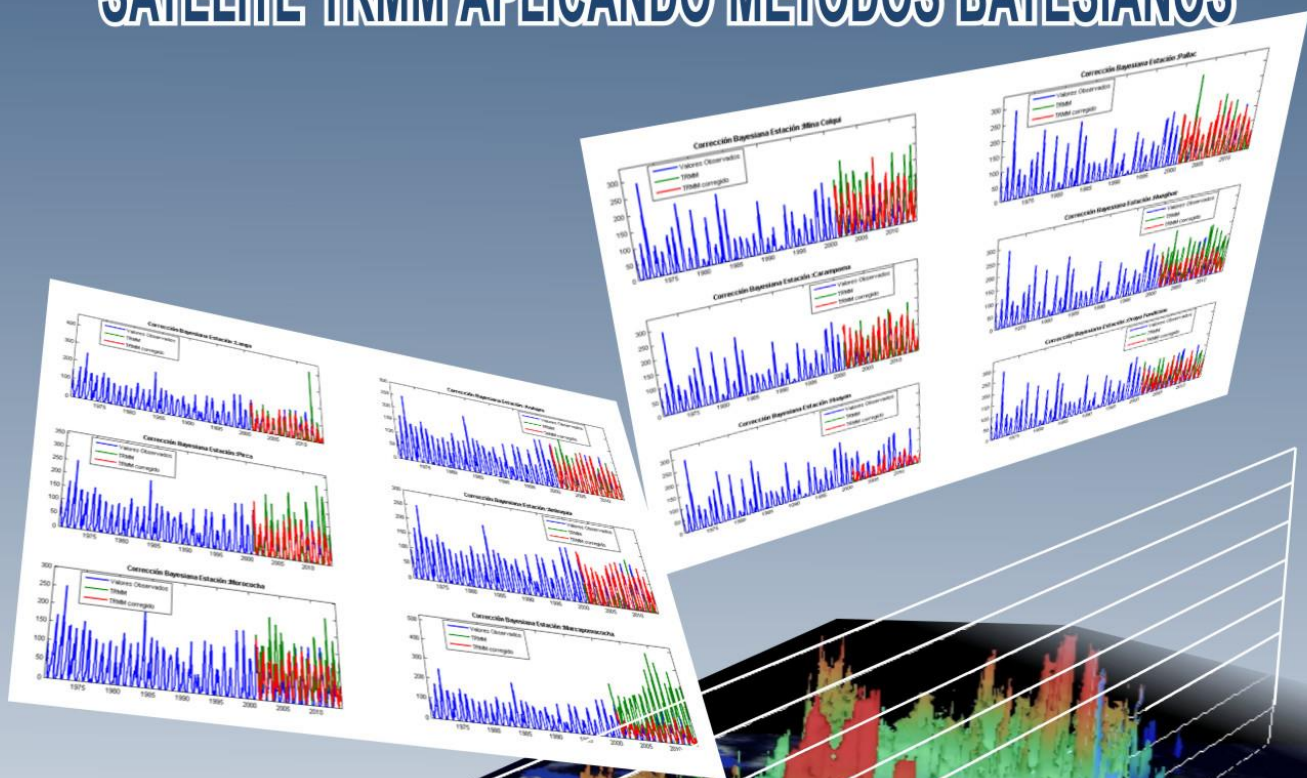
Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

META: ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN EN HIDROLOGÍA  
ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN SATELITAL



# CORRECCIÓN DE DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTIMADOS POR EL SATÉLITE TRMM APLICANDO MÉTODOS BAYESIANOS



2014



TRMM Precipitation Radar 15dBZ Isosurface



## **DIRECTORIO**

Presidenta Ejecutiva del SENAMHI  
Ing. Amelia Díaz Pabló

Director Científico  
Ing. Esequiel Villegas Paredes

Director General de Hidrología y Recursos Hídricos  
Ing. Oscar G. Felipe Obando

## **RESPONSABLES DE LA ELABORACION**

Especialista en Hidrología  
Ing. Ever Risco Sense

Director de Hidrología Aplicada  
Dr. Waldo Sven Lavado Casimiro

## **REVISIÓN Y EDICIÓN**

Ing. Oscar G. Felipe Obando  
Bach. Miriam R. Casaverde Riveros

*Diciembre – 2014*  
*LIMA - PERÚ*

## INDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	4
II.	OBJETIVOS .....	4
2.1	Objetivo General .....	4
2.2	Objetivos específicos.....	4
III.	MARCO TEÓRICO.....	5
3.1	Probabilidad.....	5
3.2	Probabilidad clásica (a priori).....	5
3.3	Probabilidad a posteriori o frecuencial .....	5
3.4	Modelos de probabilidad .....	6
3.4.1	Probabilidad marginal .....	6
3.4.2	Probabilidad condicional .....	6
VI.	METODOLOGÍA.....	8
4.1	Materiales.....	8
4.2	Ámbito de estudio.....	8
4.3	Datos de estaciones pluviométricas .....	9
4.4	Datos de la Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM .....	12
4.5	Método de corrección.....	12
4.6	Proceso metodológico .....	12
4.6.1	Descarga de información TRMM 3B42 RT .....	13
4.6.2	Acumulación de datos horarios a mensuales .....	14
4.6.3	Extracción de valores de lluvia por ubicación .....	14
4.6.4	Almacenamiento datos tabulares .....	14
4.6.5	Almacenamiento datos ráster.....	14
4.6.6	Corrección bayesiana.....	14
4.6.7	Análisis de los resultados corregidos .....	14
V.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	15
VI.	CONCLUSIONES.....	17
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
	ANEXOS.....	20

## **I. INTRODUCCION**

Dentro de las líneas de investigación que viene desarrollando la Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos del SENAMHI se encuentra el tema vinculado a la evaluación de la información satelital de las estimaciones de lluvia, visto desde una perspectiva del análisis de su confiabilidad y validación para el monitoreo hidrológico de cuencas poco instrumentadas. En sentido para el presente año dentro del POI-2014 se ha elaborado el presente trabajo de investigación denominado “Corrección de datos mensuales de Precipitación estimados por el satélite TRMM aplicando Métodos Bayesianos”. Esta nueva alternativa de corrección de datos que se propone utiliza la técnica basada en el teorema de probabilidad condicional de Bayes, la cual se aplica para corregir la información del TRMM considerando como suceso independiente y condicional la precipitación observada. La aplicación de esta técnica fue en las estaciones comprendidas en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y Parte Alta del Mantaro. Diferentes técnicas reporta la literatura especializada en relación a la los métodos utilizados para la corrección de datos satelitales y en particular en Perú se conoce los trabajos de Lavado, Rau (2010), quien propone dos modelos de corrección de la precipitación mensual del TRMM basados en los estadísticos de primer y segundo orden de las muestras observadas y del satélite; estos modelos son aditivo y multiplicativo y fueron aplicados en la región andina. Heidinger, N (2012) propone un nuevo método basado en la transformada de wavelets multiresolución para la corrección de datos diarios del TRMM aplicado a la región de Puno. Lujano E. (2012) aplica métodos de redes neuronales para la corrección de datos mensuales del TRMM aplicado en la cuenca del río Huancané.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Aplicar y validar una metodología estadística bayesiana que permita corregir la información pluviométrica mensual de las estimaciones satelitales del TRMM a para su uso en estudios hidrológicos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Corregir datos mensuales de precipitación por satélite en base a datos observados de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y parte alta del Mantaro, aplicando métodos bayesianos.

- Formular y generalizar un código computacional de corrección de datos del TRMM para su aplicación a otras zonas del país.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Probabilidad

Uno de los instrumentos fundamentales de la estadística es la probabilidad, que tuvo sus orígenes en los juegos de azar, en el siglo XVII.

En la ciencia experimental se presenta un tipo de incertidumbre y regularidad a largo plazo. Así por ejemplo: en genética es incierto saber si un descendiente será macho o hembra, pero en un plazo largo se conoce aproximadamente el porcentaje de descendientes que serán machos y el de aquellos que serán hembras.

#### 3.2 Probabilidad clásica (a priori)

Mood y Graybill (1978) mencionan que si un suceso puede ocurrir de  $n$  maneras mutuamente excluyentes e igualmente verosímiles y si  $n_A$  de estas poseen un atributo  $A$ , la probabilidad de  $A$  es la fracción  $n_A/n$ .

#### 3.3 Probabilidad a posteriori o frecuencial

Mood y Graybill (1978) mencionan que en muchas investigaciones científicas se realizan observaciones que tienen un elemento de incertidumbre o que no pueden predecirse. Para hacer más concreta esta idea, supongamos que pueden hacerse observaciones (o experimentos) bajo condiciones completamente uniformes. Es decir, hecha la observación, se repite el suceso en condiciones análogas y se hace otra observación; esto se repite muchas veces y, aunque las condiciones sean siempre similares, existe una variación incontrolable que es "casual" o "aleatoria", de tal forma que no es posible predecir el resultado de las observaciones individualmente. En muchos de estos casos, las observaciones caen dentro de ciertas clases, en las que las frecuencias relativas son bastante estables. Esto sugiere que postulemos un número  $p$ , llamado probabilidad del suceso, y aproximar  $p$  por la frecuencia relativa con que aparece dicho suceso en las repetidas observaciones.

### 3.4 Modelos de probabilidad

Uno de los objetivos de la ciencia consiste en predecir y describir sucesos del mundo en que vivimos. Una manera de hacerlo es construir modelos matemáticos que describan adecuadamente el mundo real.

Cada resultado imaginable de un experimento conceptual, que puede repetirse bajo condiciones similares, será denominado un punto muestral, y la totalidad de los resultados imaginables (o puntos muestrales) se llamará el espacio muestral.

#### 3.4.1 Probabilidad marginal

Sea el espacio muestral  $S$ , formado por  $n$  puntos con probabilidades  $1/n$ , es particionado en  $r$  subconjuntos mutuamente excluyentes (disjuntos)  $A_1, A_2, \dots, A_r$  sea  $B_1, B_2, \dots, B_s$  otra partición de  $S$  en  $s$  subconjuntos mutuamente excluyentes. Los  $n$  puntos de  $S$  pueden clasificarse en una tabla de doble entrada.

Puede interesarnos solamente uno de los criterios de clasificación,  $A$ , y sernos indiferente la clasificación  $B$ . En este caso prescindimos de  $B$  en el símbolo, y la probabilidad de un valor cualquiera  $A_2$  se designa por  $P(A_2)$ , y se tiene:

$$P(A_2) = \frac{n_{21} + n_{22} + n_{23} + \dots + n_{2s}}{n}$$
$$= \sum_{j=1}^s \frac{n_{2j}}{n}$$

Que recibe el nombre de probabilidad marginal; la calificación de marginal se emplea siempre que se prescinde de uno o más criterios de clasificación. Es evidente que:

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^s \frac{n_{ij}}{n}$$

O bien:

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^s P(A_i, B_j)$$

#### 3.4.2 Probabilidad condicional

Cuando se desea hallar la probabilidad de que otro atributo tenga un valor determinado. Supongamos que se ha observado que el suceso tiene el atributo  $B_3$ . ¿Cuál sería la probabilidad de que tenga así mismo el atributo  $A_2$ ? El total de resultados de  $A$  cuando ha ocurrido  $B_3$ , es  $\sum_{i=1}^r n_{i3}$ , y el número de resultados favorables a  $A_2$  es  $n_{23}$ . Así, la probabilidad de  $A_2$ , cuando se sabe que ha ocurrido  $B_3$ , es  $n_{23}/\sum_{i=1}^r n_{i3}$ , que se designa con el nombre de probabilidad condicional y cuyo símbolo es  $P(A_2|B_3)$ . En general (suponiendo que los denominadores no son nulos),

$$P(A_i|B_j) = \frac{n_{ij}}{\sum_{i=1}^r n_{ij}}$$

$$P(B_j|A_i) = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^s n_{ij}}$$

Dividiendo el numerador y el denominador de la fracción del segundo miembro por  $n$ , tenemos:

$$P(A_i|B_j) = \frac{P(A_i, B_j)}{P(B_j)}$$

$$P(B_j|A_i) = \frac{P(A_i, B_j)}{P(A_i)}$$

O bien:

$$P(A_i, B_j) = P(A_i|B_j)P(B_j)$$

$$= P(B_j|A_i)P(A_i)$$

Esta última ecuación puede enunciarse del siguiente modo: La probabilidad de que un resultado tenga los atributos  $A_i$  y  $B_j$  es igual a la probabilidad marginal de  $A_i$  multiplicada por la probabilidad de  $B_j$  cuando ha ocurrido  $A_i$ .

Al describir la probabilidad condicional hemos utilizado un espacio muestral bastante especial, espacio que contiene un número finito  $n$  de puntos, cada uno con probabilidad  $1/n$ . sin embargo, la idea es completamente general y puede definirse para espacios muestrales discretos y continuos de la siguiente forma:

Sean A y B dos sucesos de un espacio muestral S tal que  $P(B) > 0$ . La probabilidad condicional del suceso A cuando ha ocurrido el suceso B, y que se designa por  $P(A|B)$ , es:

$$P(A|B) = \frac{P(A, B)}{P(B)}$$

#### IV. METODOLOGÍA

##### 4.1 Materiales

Los materiales utilizados están conformados por datos meteorológicos, datos de satélite, los cuales se detallan a continuación:

- Información de precipitación de estaciones pluviométricas que van desde 1960 hasta el 2013 distribuidas en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y Alto Mantaro, proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI, ver *Figura 2 y 3*.
- Datos de precipitación de alta resolución de la Tropical Rainfall Measuring Mission –TRMM, correspondiente a los productos 3B43 y 3B42RT de la NASA.

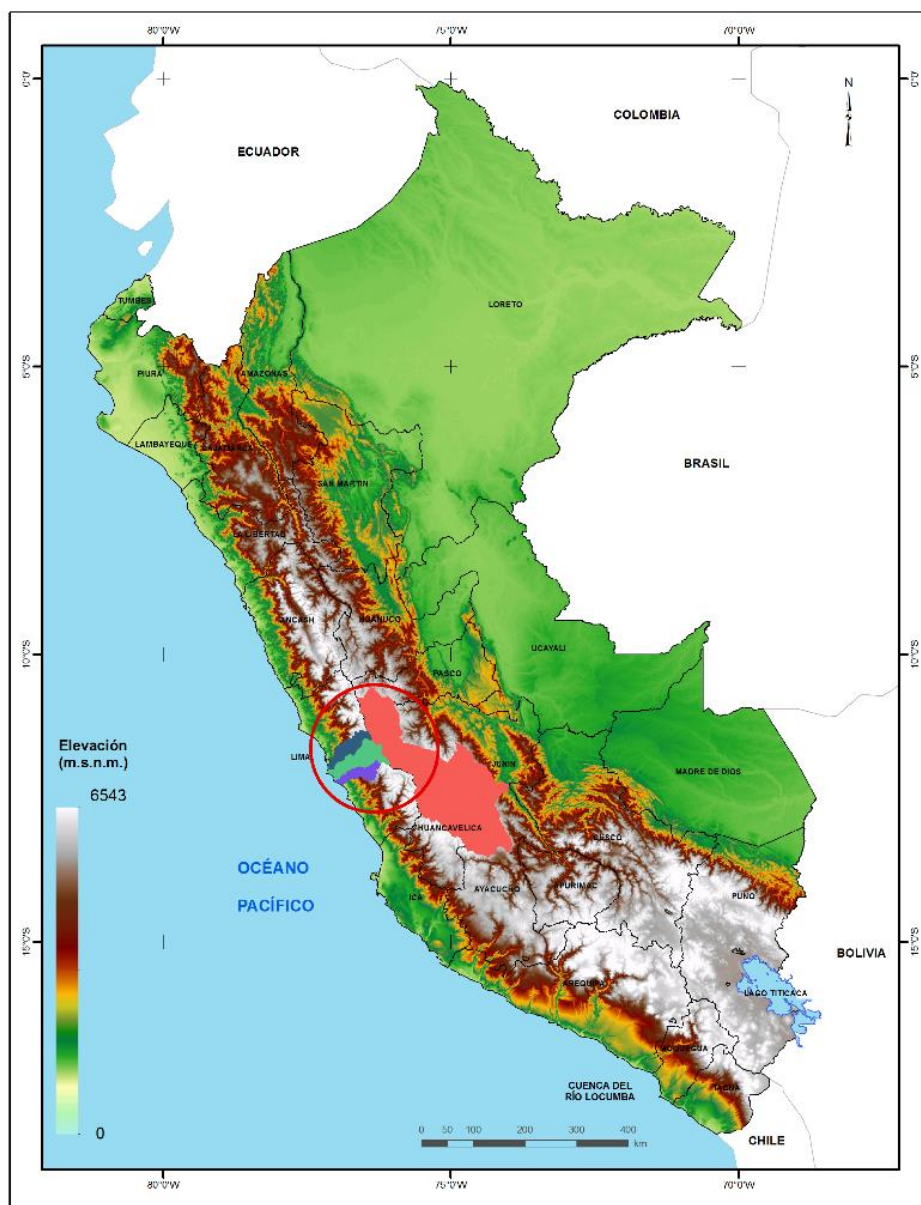
Las herramientas informáticas utilizadas para el tratamiento de los datos espaciales y tabulares para la presente consultoría son:

- MATLAB.
- R-Statistics.
- ArcGIS.
- Microsoft Excel - Word 2010.

##### 4.2 Ámbito de estudio

El ámbito de análisis de la sistematización de la información para la modelización hidrológica se muestra en la *Figura 1*.

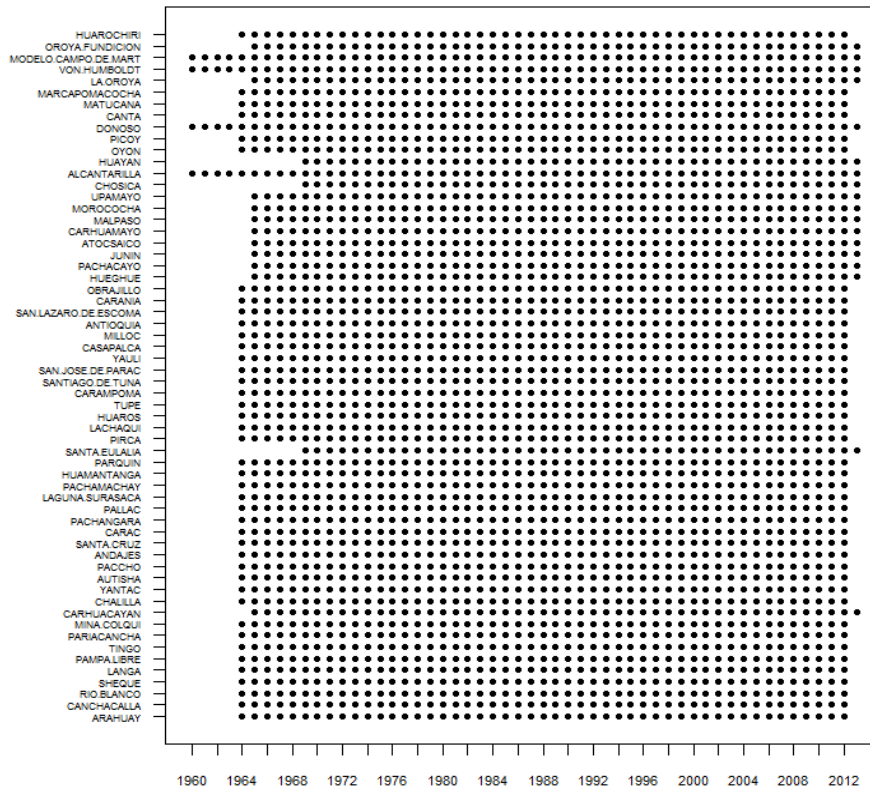




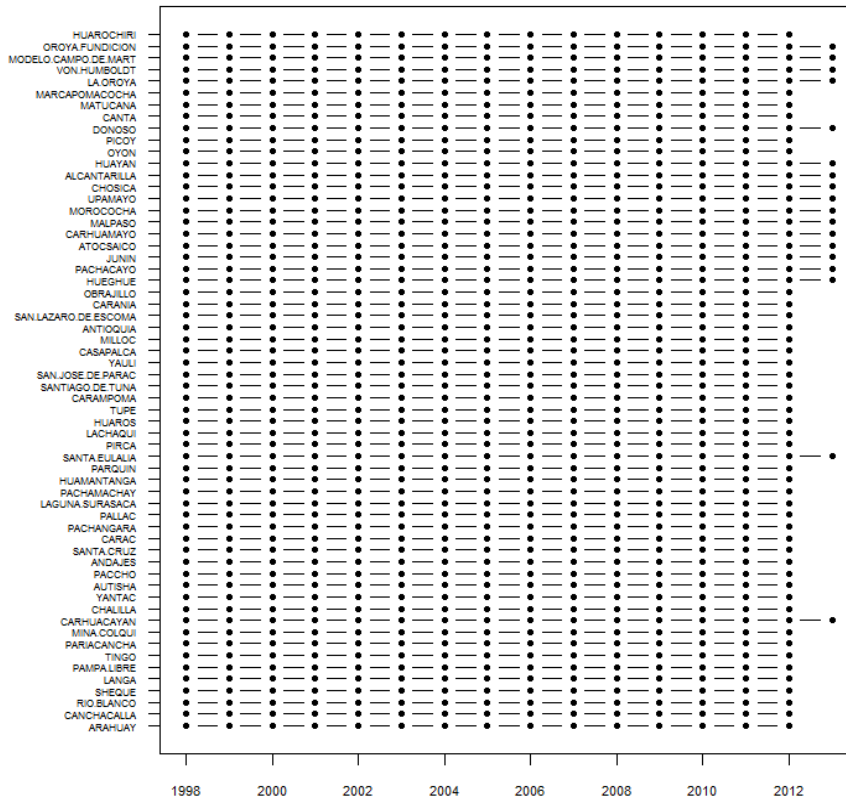
**Figura 1.** Distribución espacial de las estaciones pluviométricas (60) analizadas.  
Fuente. Elaboración propia

### **4.3 Datos de estaciones pluviométricas**

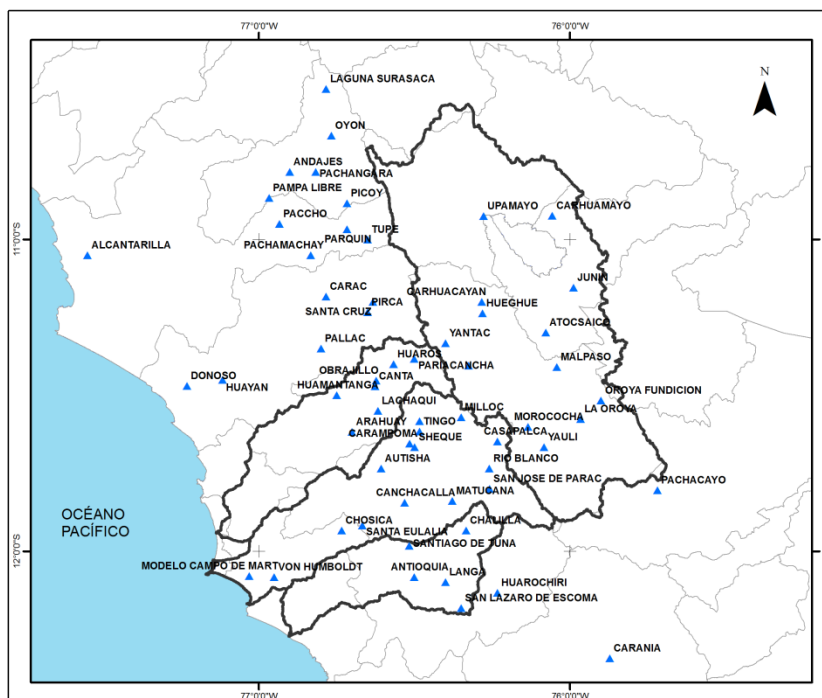
En la zona de estudio se encuentran 60 estaciones pluviométricas con información mensual disponible desde el 1960 hasta el 2013, las cuales se encuentran distribuidas dentro de las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y alrededores (ver *Figura 4* y *Cuadro 1*). La disponibilidad temporal desde ese periodo varía de acuerdo a las estaciones (ver *Figura 2*), sin embargo para el periodo de 1998-2013 (periodo desde el cual está disponible la información por satélite), se puede apreciar que la gran mayoría de estaciones cuentan con información pluviométrica (ver *Figura 3*).



**Figura 2.** Disponibilidad temporal de la información en las estaciones (60). Periodo 1960-2013  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 3.** Disponibilidad temporal de la información en las estaciones (60). Periodo 1998-2013  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 4.** Distribución espacial de las estaciones (60)  
Fuente. Elaboración propia

**Cuadro 1.** Estaciones utilizadas para la zona de estudio (60). Periodo de análisis: 1970-2013

Estación	Latitud	Longitud	Periodo	Estación	Latitud	Longitud	Periodo
Arahuay	-11.61694	-76.70028	1970-2013	San Jose De Parac	-11.80053	-76.25811	1970-2013
Canchacalla	-11.84481	-76.53136	1970-2013	Yauli	-11.66667	-76.08334	1970-2013
Rio Blanco	-11.73453	-76.25889	1970-2013	Casapalca	-11.64778	-76.23341	1970-2013
Sheque	-11.66661	-76.4987	1970-2013	Milloc	-11.57	-76.35	1970-2013
Langa	-12.1	-76.4	1970-2013	Antioquia	-12.08333	-76.5	1970-2013
Pampa Libre	-10.86667	-76.96667	1970-2013	San Lázaro De Escoma	-12.18333	-76.35	1970-2013
Tingo	-11.61667	-76.48333	1970-2013	Carania	-12.34439	-75.87214	1970-2013
Pariacancha	-11.38333	-76.5	1970-2013	Obrajillo	-11.45264	-76.62206	1970-2013
Mina Colqui	-11.58333	-76.48333	1970-2013	Hueghue	-11.23722	-76.28083	1970-2013
Carhuacayan	-11.20028	-76.28361	1970-2013	Pachacayo	-11.805	-75.71917	1970-2013
Chalilla	-11.93333	-76.33334	1970-2013	Junín	-11.15444	-75.98805	1970-2013
Yantac	-11.33333	-76.4	1970-2013	Atocsaico	-11.29861	-76.07777	1970-2013
Autisha	-11.73517	-76.60653	1970-2013	Carhuamayo	-10.92361	-76.05695	1970-2013
Paccho	-10.95	-76.93333	1970-2013	Malpaso	-11.40972	-76.04166	1970-2013
Andajes	-10.78333	-76.9	1970-2013	Morococha	-11.60139	-76.13472	1970-2013
Santa Cruz	-11.2	-76.63333	1970-2013	Upamayo	-10.925	-76.27778	1970-2013
Carac	-11.18333	-76.78333	1970-2013	Chosica	-11.93333	-76.73333	1970-2013
Pachangara	-10.78333	-76.81667	1970-2013	Alcantarilla	-11.05	-77.55	1970-2013
Pallac	-11.35	-76.8	1970-2013	Huayan	-11.45	-77.11667	1970-2013
Laguna Surasaca	-10.51667	-76.78333	1970-2013	Oyón	-10.66667	-76.76667	1970-2013
Pachamachay	-11.05	-76.83334	1970-2013	Picoy	-10.88333	-76.71667	1970-2013
Huamantanga	-11.5	-76.75	1970-2013	Donoso	-11.47	-77.23	1970-2013
Parquin	-10.96667	-76.71667	1970-2013	Canta	-11.47111	-76.62583	1970-2013
Santa Eulalia	-11.91803	-76.66678	1970-2013	Matucana	-11.83911	-76.378	1970-2013
Pirca	-11.23333	-76.65	1970-2013	Marcapomacocha	-11.40444	-76.32503	1970-2013
Lachaqui	-11.55028	-76.61694	1970-2013	La Oroya	-11.57611	-75.96556	1970-2013
Huaros	-11.4	-76.56667	1970-2013	Von Humboldt	-12.08333	-76.95	1970-2013
Tupe	-11	-76.65	1970-2013	Modelo Campo De Mart	-12.08	-77.03	1970-2013
Carampoma	-11.65503	-76.51527	1970-2013	Oroya Fundición	-11.51694	-75.90028	1970-2013
Santiago De Tuna	-11.98333	-76.51667	1970-2013	Huarochiri	-12.13333	-76.23333	1970-2013

Fuente. Elaboración propia

#### 4.4 Datos de la Tropical Rainfall Measuring Mission –TRMM

Los datos de satélite fueron obtenidos a partir de la ubicación espacial de las estaciones del producto TRMM 3B42RT.

#### 4.5 Método de corrección

La formulación del esquema bayesiano para la corrección de datos de satélite a partir de datos observados se presenta a continuación. Un conjunto de puntos de mediciones de precipitación y datos de satélite se encuentran disponibles para la zona de estudio, la cual será denotada como  $G_i$  y  $S_j$ , respectivamente. Entonces para un periodo de entrenamiento, se puede calcular la probabilidad conjunta  $P(G_i, S_j)$  a partir de los datos existentes, con el teorema de bayesiano:

$$P(G_i/S_j) = \frac{P(G_i, S_j)}{P(S_j)}$$

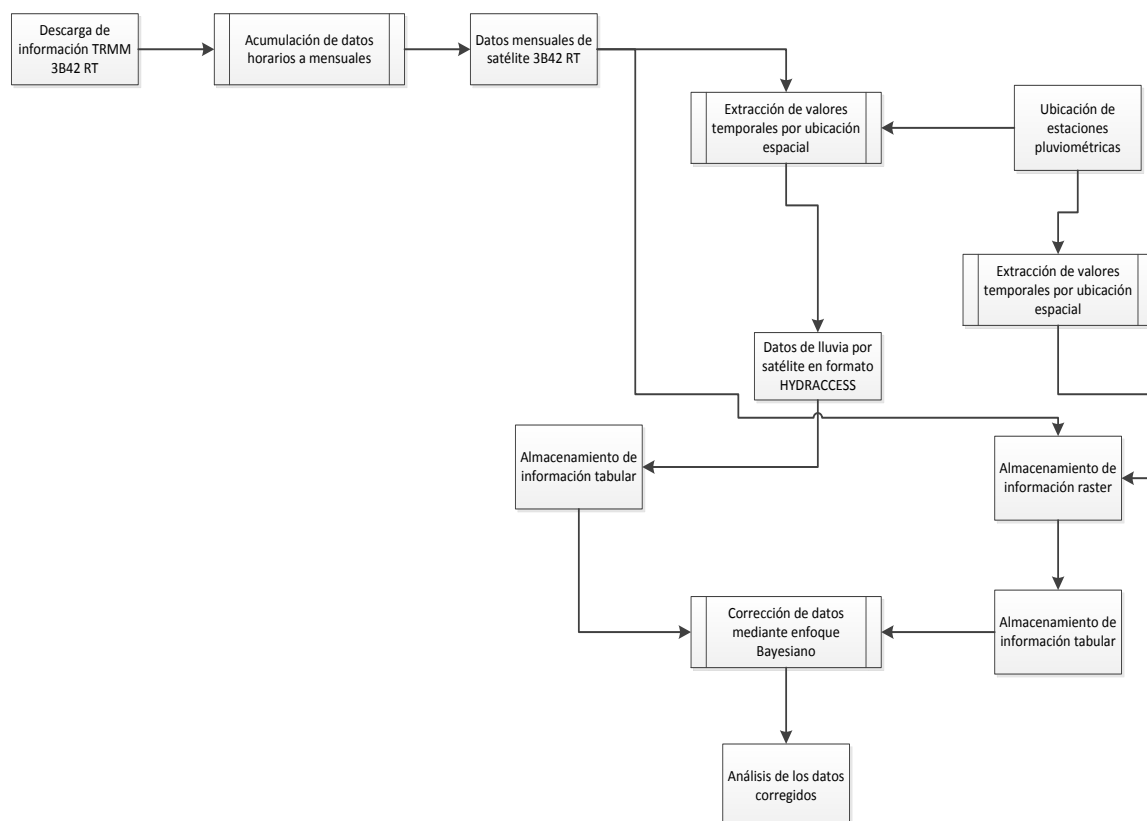
Se puede calcular la probabilidad condicional  $P(G_i/S_j)$ , dato que todos los términos de la derecha de la ecuación pueden ser calculados con los datos observados, se puede calcular el valor más probable para el punto medido  $G_{j0}$  dado cualquier  $S_j$ , maximizando  $P(G_i/S_j)$ , el resultado final de los datos de entrenamiento es una tabla, la cual será utilizada cuando solo se encuentre disponible los datos de satélite. Se puede entonces encontrar  $G_{j0}$  a partir de un  $S_j$  dado en la tabla obtenida, y usar el  $G_{j0}$  para reemplazar el correspondiente  $S_j$  como un valor corregido de la estimación del satélite.

#### 4.6 Proceso metodológico

En la *Figura 5* observamos un flujograma del proceso metodológico realizado del cual se hace una breve descripción con más detalle posteriormente, pero se sintetiza a continuación:

- Descarga de datos de precipitación de la Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM producto 3B42 RT <ftp://trmmopen.gsfc.nasa.gov/pub/merged/3B42RT/2014/>.
- Acumulación de datos horarios (cada 3 horas) TRMM a datos mensuales.
- Extracción de valores de lluvia de los datos 3B42RT para cada ubicación de estaciones pluviométricas analizadas.

- Almacenamiento de la información extraída en formato de HYDRACCESS para su posterior análisis.
- Almacenamiento de la información de satélite en formato \*.MAT para su posterior uso.
- Corrección de datos de satélite con datos observados mediante enfoque Bayesiano, teniendo como periodo de entrenamiento 2001-2012 y para la validación el año 2013.



**Figura 5.** Flujograma del proceso metodológico para la corrección Bayesiana  
Fuente. Elaboración propia

#### 4.6.1 Descarga de información TRMM 3B42 RT

La información de lluvia por satélite del producto 3B42 RT de la TRMM se descarga desde la página web <ftp://trmmopen.gsfc.nasa.gov/pub/merged/3B42RT/>, las cuales se encuentran en formato comprimido “\*.gz”, con nombre de archivo estructurado de la siguiente manera 3B42RT.2014031709.7.bin.gz, donde las seis primeras letras identifican el producto TRMM, 2014 indica el año, 03 indica el mes, 17 el día, 09 indica la hora, finalmente 7 indica la versión del producto.

#### **4.6.2 Acumulación de datos horarios a mensuales**

La información de satélite del producto 3B42 RT se encuentra cada 3 horas, estos deben ser agregados a paso mensual, para lo cual mediante procesos repetitivos se van sumando los ráster binarios a fin de obtener la lluvia mensual.

#### **4.6.3 Extracción de valores de lluvia por ubicación**

Posterior a la obtención de lluvia mensual se procedió a extraer los valores de lluvia para la ubicación de las 60 estaciones analizadas de acuerdo al pixel correspondiente de cada ráster binario a paso mensual desde 2000-2014 (3b42 RT).

#### **4.6.4 Almacenamiento de datos tabulares**

Los valores obtenidos son almacenados como tablas en formato de HYDRACCESS para su posterior análisis.

#### **4.6.5 Almacenamiento de datos ráster**

Los ráster binarios agregados y calculados son almacenados en formatos \*.MAT para su posterior análisis, con lo cual se tiene 1998-2014 (3B43) y 2000-2014 (3b42 RT).

#### **4.6.6 Corrección bayesiana**

Los valores de lluvia por satélite fueron corregidos mediante un enfoque bayesiano, basado en el teorema de Bayes de probabilidad condicionada, para lo cual a partir de los datos existentes en el periodo común de ambos datos se obtiene la función de distribución conjunta para poder obtener así la probabilidad de una determinada lluvia medida dada la lluvia por satélite estimada.

#### **4.6.7 Análisis de los resultados corregidos**

Los resultados obtenidos luego de la corrección bayesiana se analizarán en relación a los datos observados.

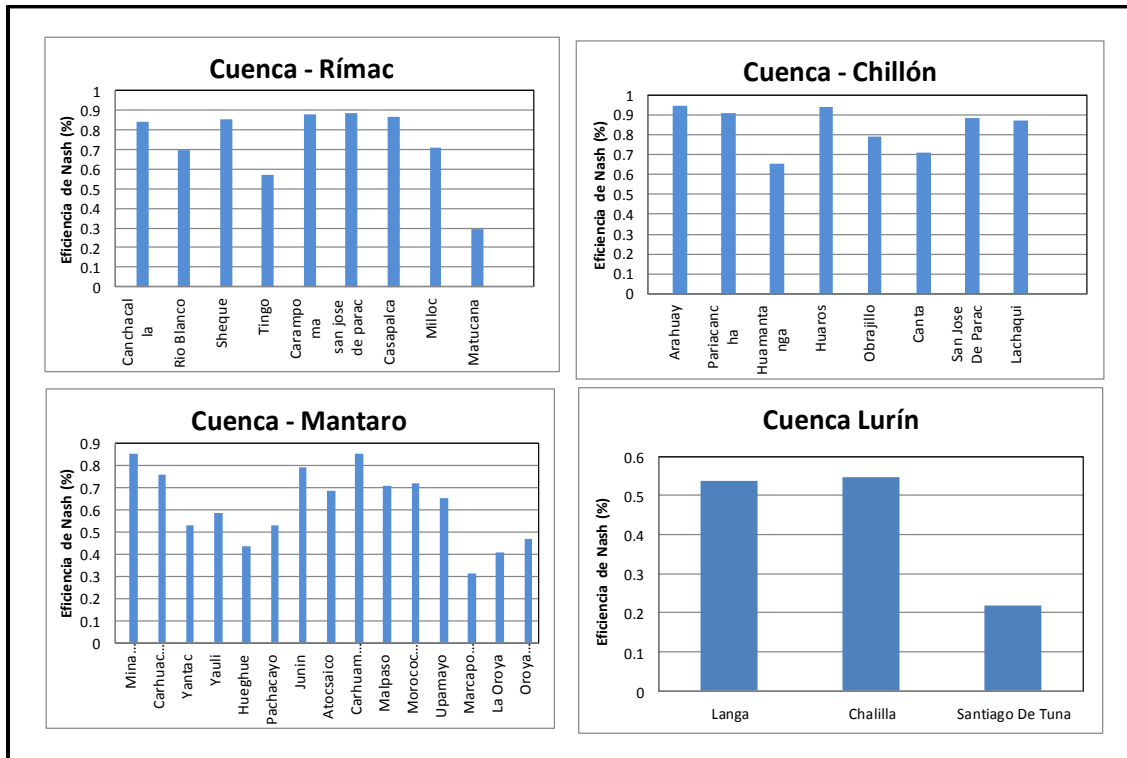
## **V. RESULTADOS OBTENIDOS**

Eficiencia de Nash-Sutcliffe de la corrección Bayesiana por estación pluviométrica analizada se presenta en el *Cuadro II*.

**Cuadro II.** Valores del coeficiente de Nash obtenido por estación

Estación	Eficiencia NASH	Estación	Eficiencia NASH
Arahuay	0.9487	Carampoma	0.8815
Canchacalla	0.8444	Santiago de Tuna	0.2176
Rio Blanco	0.6950	San José de Parac	0.8855
Sheque	0.8524	Yauli	0.5868
Langa	0.5362	Casapalca	0.8648
Tingo	0.5708	Milloc	0.7107
Pariacancha	0.9115	San Lázaro de Escomarca	0.7261
Mina Colqui	0.8552	Carania	0.8143
Carhuacayán	0.7611	Obrajillo	0.7895
Chalilla	0.5470	Hueghue	0.4348
Yantac	0.5277	Pachacayo	0.5306
Paccho	0.7780	Junín	0.7911
Andajes	0.9101	Atocsaico	0.6888
Santa Cruz	0.8949	Carhuamayo	0.8558
Carac	0.7444	Malpaso	0.7086
Pachangara	0.5998	Morococha	0.7210
Pallac	0.1972	Upamayo	0.6520
Laguna Surasaca	0.7436	Oyón	0.6036
Pachamachay	0.7599	Picoy	0.7776
Huamantanga	0.6573	Canta	0.7081
Parquin	0.7056	Matucana	0.2940
Pirca	0.9570	Marcapomacocha	0.3139
Lachaqui	0.8710	La Oroya	0.4099
Huaros	0.9378	Oroya Fundición	0.4681
Tupe	0.6635	Huarocharí	0.9597

Fuente. Elaboración propia



**Figura 6.** Valores del coeficiente de Nash por cuenca

Fuente. Elaboración propia



## **VI. CONCLUSIONES**

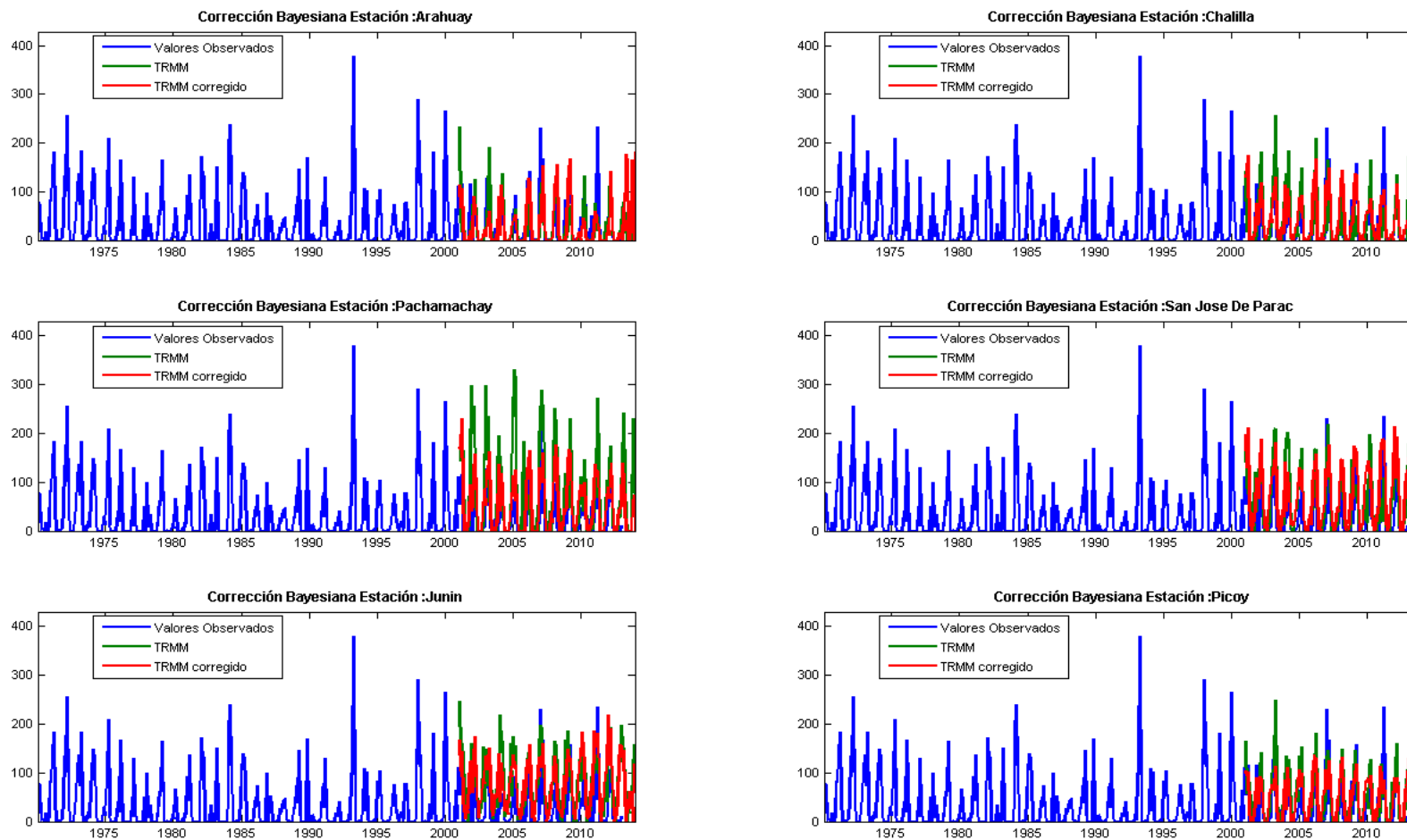
- Se ha probado que la metodología de corrección de los datos del TRMM a paso mensual mediante estadística Bayesiana es adecuada según la performance de los indicadores de eficiencia utilizados.
- De las 50 estaciones evaluadas, el 30% presenta valores del coeficiente de eficiencia de Nash comprendida entre 0.20 y 0.60. El 38% de estaciones presenta valores de eficiencia de Nash comprendida entre 0.60 y 0.80. El 27% de estaciones, restantes presenta valores del coeficiente de eficiencia de Nash superiores a 0.80.
- A nivel de cuenca, la corrección de los datos del TRMM, se observa lo siguiente:
  - En la cuenca del Rímac los valores extremos del coeficiente de Nash obtenidos fueron de 0.29 y 0.89 correspondientes a las estaciones de Matucana y San José de Parac, respectivamente.
  - En la cuenca del Chillón los valores extremos del coeficiente de Nash obtenidos fueron de 0.66 y 0.95 correspondientes a las estaciones de Huamantanga y Arahua, respectivamente.
  - En la cuenca del río Lurín los valores extremos del coeficiente de Nash obtenidos fueron de 0.22 y 0.55 correspondientes a las estaciones de Santiago de Tuna y Chalilla, respectivamente.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

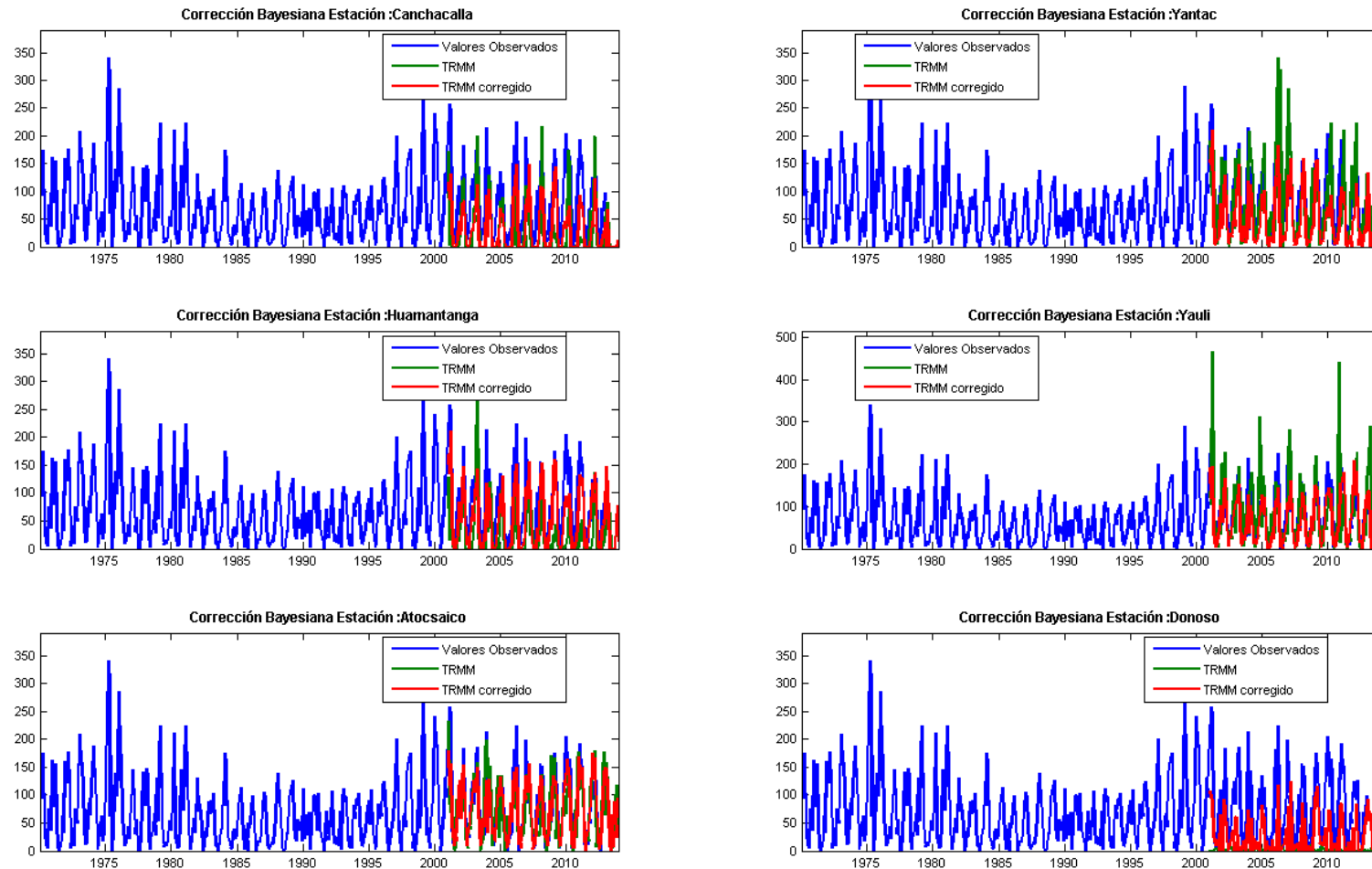
- COLLISCHONN, B. 2006. *Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído*. 174 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- HUFFMAN, G.; ADLER, R.; BOLVIN, D.; GU. G.; NELKIN, E.; BOWMAN, K.; HONG, Y.; STOCKER, E.; WOLFF, D. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, Boston, v. 8, n. 1, Feb., p. 38–55.
- HONG, Y; GOCHIS, D; CHENG, J. 2007. Evaluation of PESIANN-CCS rainfall measurement using the NAME event rain gauge network. *Journal of Hydrometeorology* 8: 469-482.
- HONG, Y; HSU K.; GAO, X. 2004. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using artificial neural network-cloud classification system. *Journal of Applied Meteorology* 43: 1834-1853.
- HSU, K., X. GAO, S. SOROOSHIAN, AND H.V. GUPTA, 1997: Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36,1176–1190.
- HSU, K., H.V. GUPTA, X. GAO, S. SOROOSHIAN, 1999: A neural network for estimating physical variables from multi-channel remotely sensed imagery: application to rainfall estimation. *Water Resources Research*, 35, 1605–1618.
- HSU, K., Y. HONG, AND S. SOROOSHIAN, 2007: Rainfall estimation using a cloud patch classification map, In *Measurement of Precipitation from Space: EURAINSAT and Future*, Edited by V. Levizzani, P. Bauer, and F.J. Turk. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- FERRARO, R.R. AND G.F. MARKS, 1995: The development of SSM/I rain-rate retrieval algorithms using ground-based radar measurements. *Journal of Atmospheric Oceanic Technology*, 12, 755–770.
- JANOWIAK, J.E., R.J. JOYCE, AND Y. YAROSH, 2001: A real-time global half-hourly pixel-resolution infrared dataset and its applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 205–217.
- JOYCE, R.J.; JANOWIAK, J.E.; ARKIN, P.A.; XIE, P. 2004. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, Boston, v. 5, n. 3, june, p. 487-503.

- KUMMEROW, C., W. BARNES, T. KOZU, J. SHIUE, AND J. SIMPSON, 1998: The tropical rainfall measurement mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric Oceanic Technology*, 15, 809–816.
- KUMMEROW, C., J. SIMPSON, O. THIELE, W. BARNES, A.T.C. CHANG, E. STOCKER, R.F. ADLER, A. HOU, R. KAKAR, F. WENTZ, P. ASHCROFT, T. KUZU, Y. HONG, K. OKAMOTO, T. IGUCHI, H. KUROWA, E. IM, Z. HADDAD, G. HUFFMAN, B. FERRIER, W.S. OLSON, E. ZIPER, E.A. SMITH, T.T. WILHEIT, G. NORTH, T. KRISHNAMURTI, AND K. NAKAMURA, 2000: The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years on orbit. *Journal of Applied meteorology*, 39, 1965–1982.
- KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W., CHANG, A.T.C.; STOCKER, E., ADLER, R. F.; HOU, A.; KAKAR, R.; WENTZ, F.; ASHCROFT, P.; KOZU, T. ; HONG, Y.; OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; KUROWA, H.; IM, E.; HADDAD, Z.; HUFFMAN, G.; FERRIER B.; OLSON, W.S.; ZIPSER, E.; SMITH, E. A.; WILHEIT, T.T.; NORTH, G.; KRISHNAMURTI, T.; NAKAMURA, K. 2000. The Status of the Tropical rainfall measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorological*, vol. 39, pp. 1965-1982.
- KUO-LIN, H; BEHRANGI, A; BISHOP, I. 2010. Extreme precipitation estimation using satellite-based PERSIANN-CCS algorithm. *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*: 49-67.
- MOOD, A; GRAYBILL, F. 1978. *Introducción a la Teoría de la Estadística*. Aguilar. 548 pp.
- SOROOSHIAN, S., K.-L. HSU, X. GAO, H.V. GUPTA, B. IMAM, AND D. BRAITHWAITE, 2000: Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 2035–2046.
- SOROOSHIAN, S., X. GAO, K. HSU, R.A. MADDOX, Y. HONG, B. IMAM, AND H.V. GUPTA, 2002: Diurnal variability of tropical rainfall retrieved from combined GOES and TRMM satellite information. *Journal of Climate*, 15, 983–1001.
- TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Mission Overview. Disponível em <<http://trmm.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em outubro de 2010.
- VILA, D.A.; GONÇALVES, L.G.G.; TOLL, D.L.; ROZANTE, J.R. 2009. Statistical evaluation of combined daily gauge observations and rainfall satellite over continental South America. *Journal of Hydrometeorology*, Boston, v. 10, n. 2, Apr., p. 533-543.

# **ANEXOS**

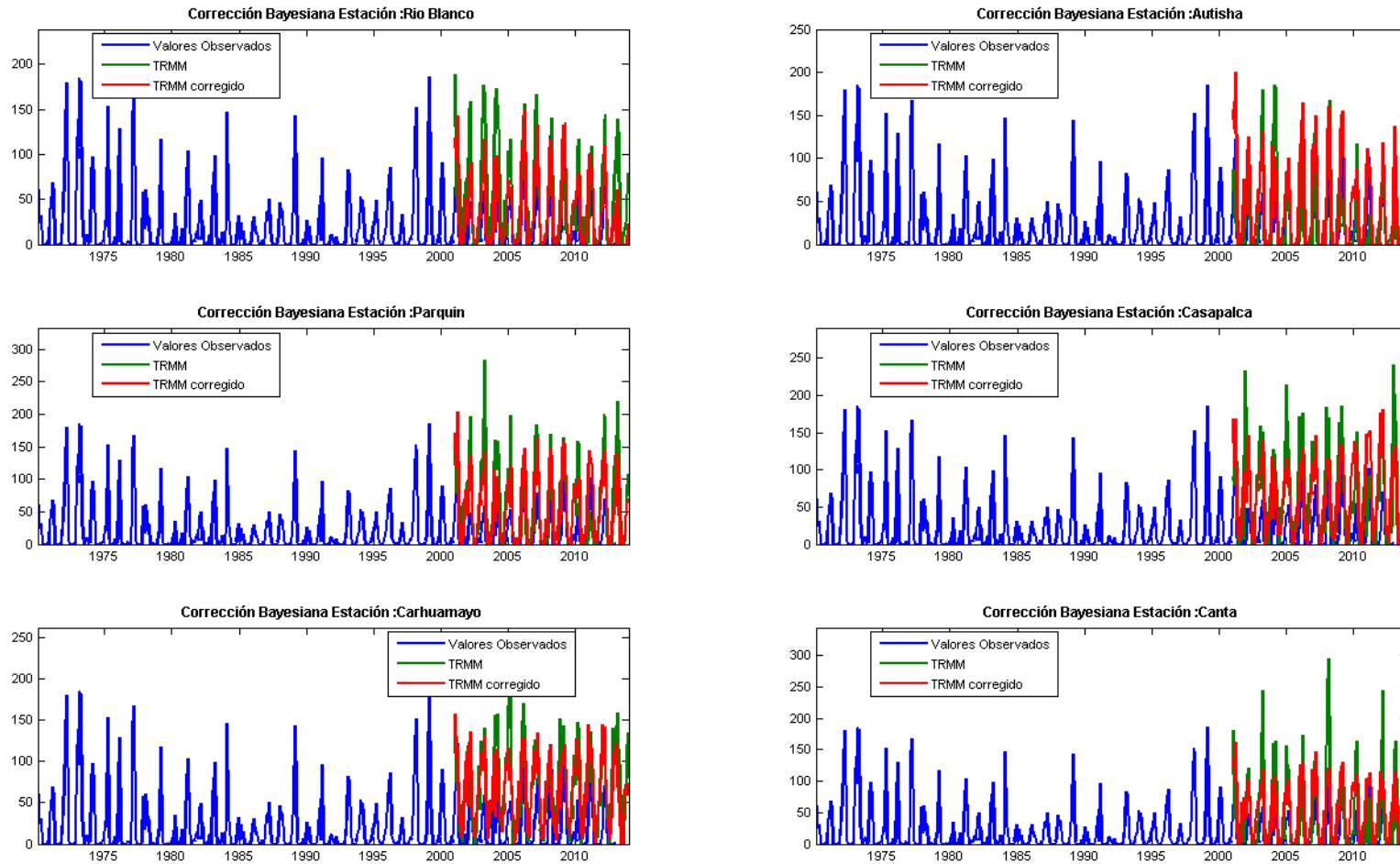


**Figura 7.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos  
Fuente. Elaboración propia



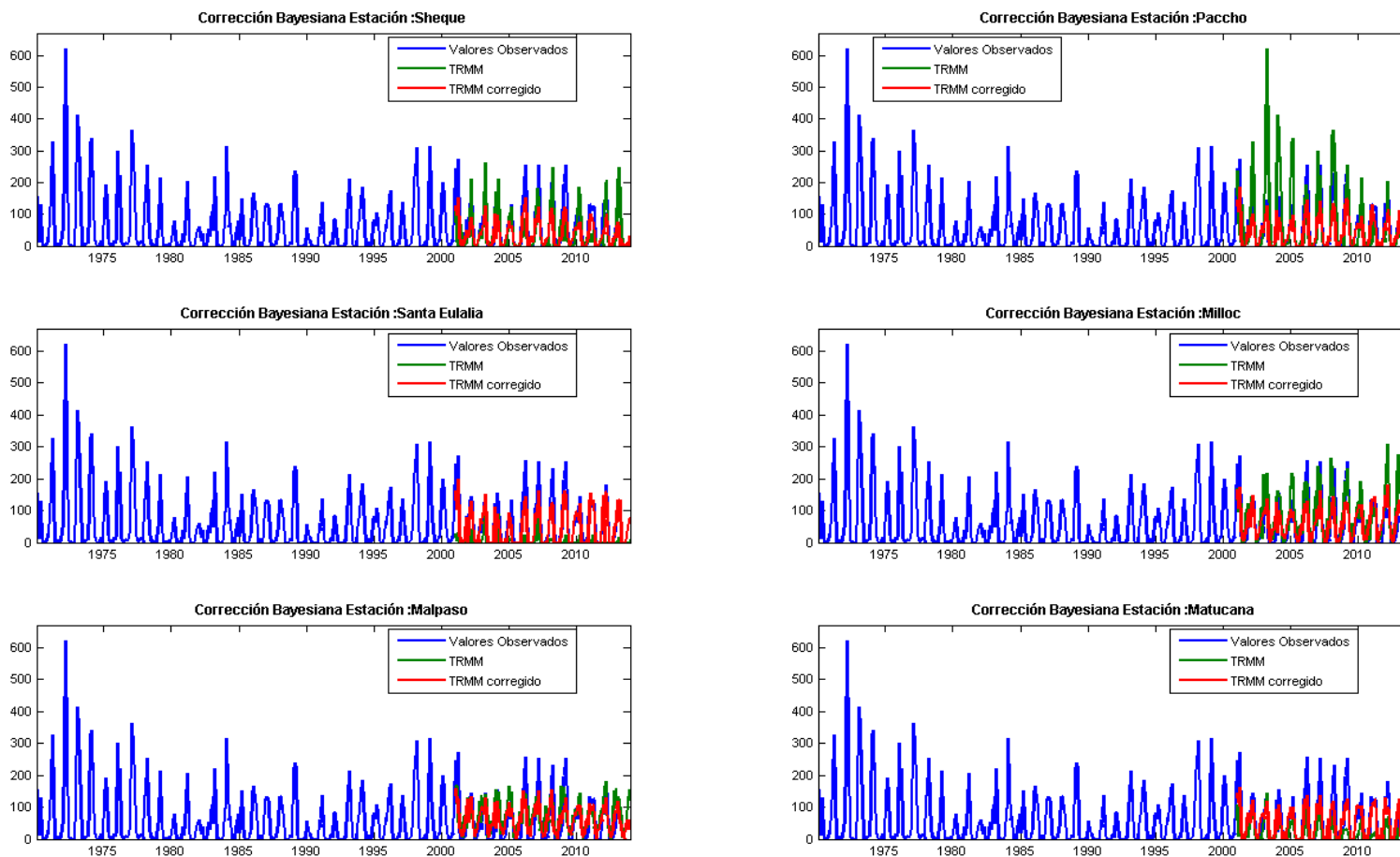
**Figura 8.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos

Fuente. Elaboración propia



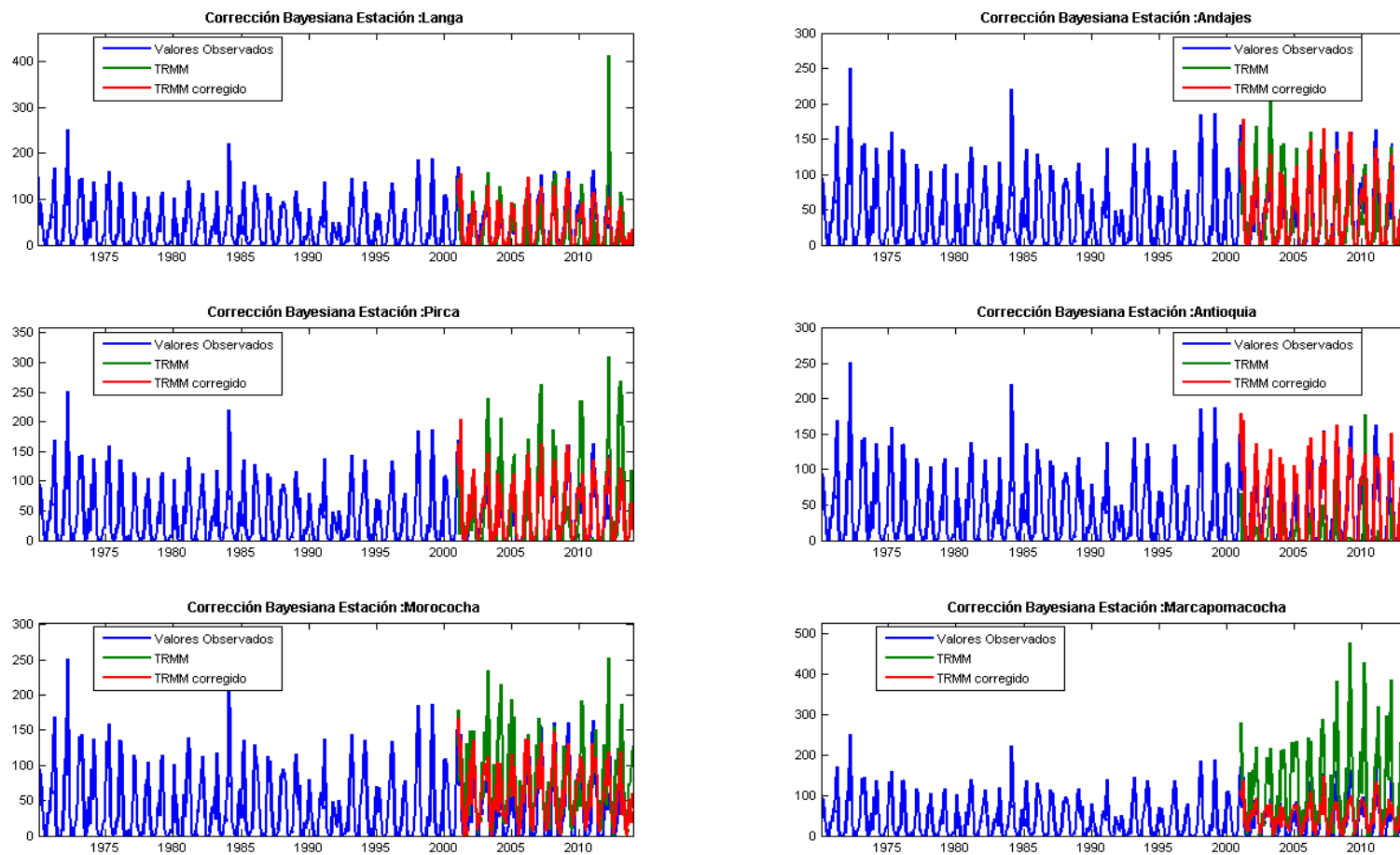
**Figura 9.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos

Fuente. Elaboración propia

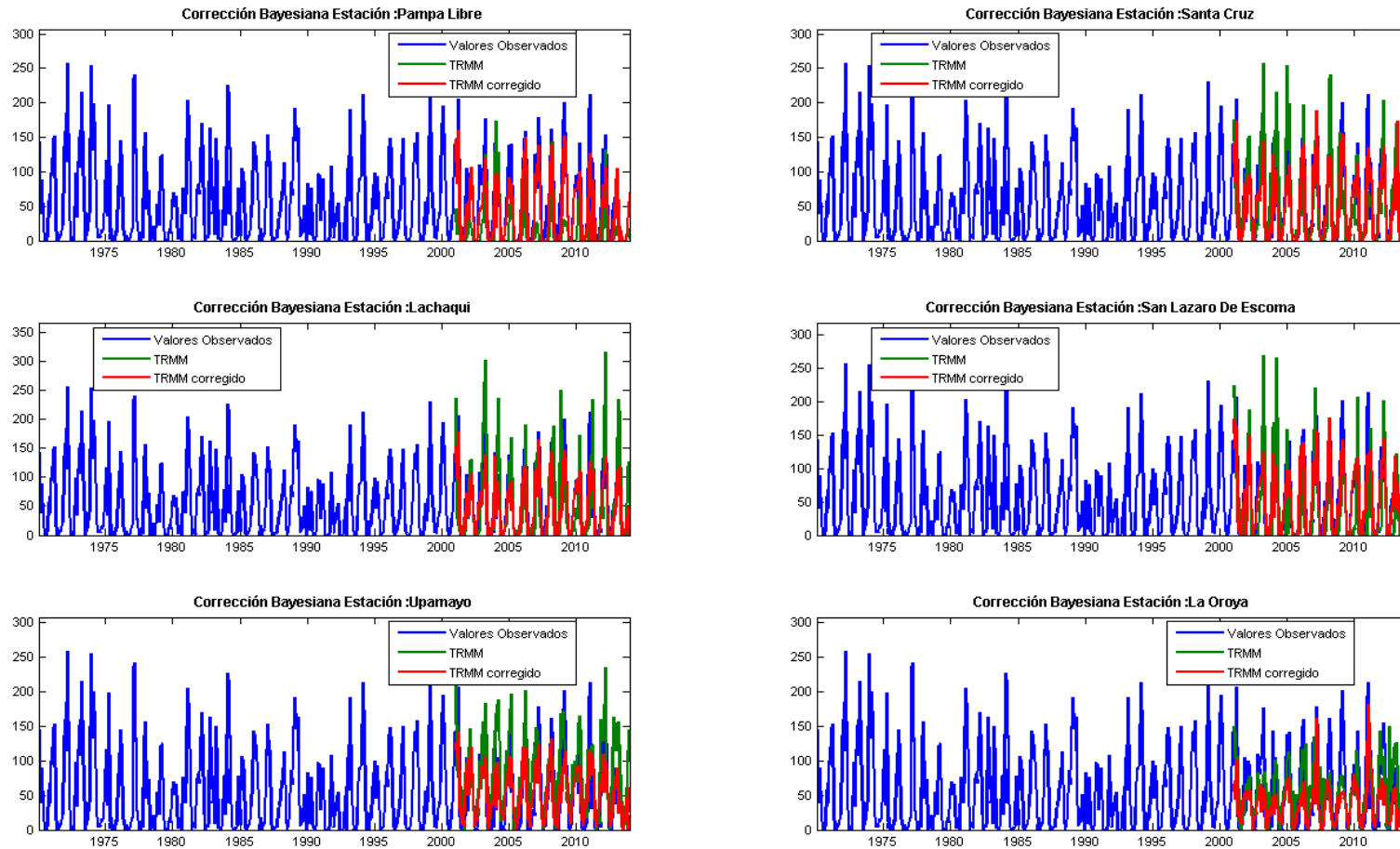


**Figura 10.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos  
Fuente. Elaboración propia

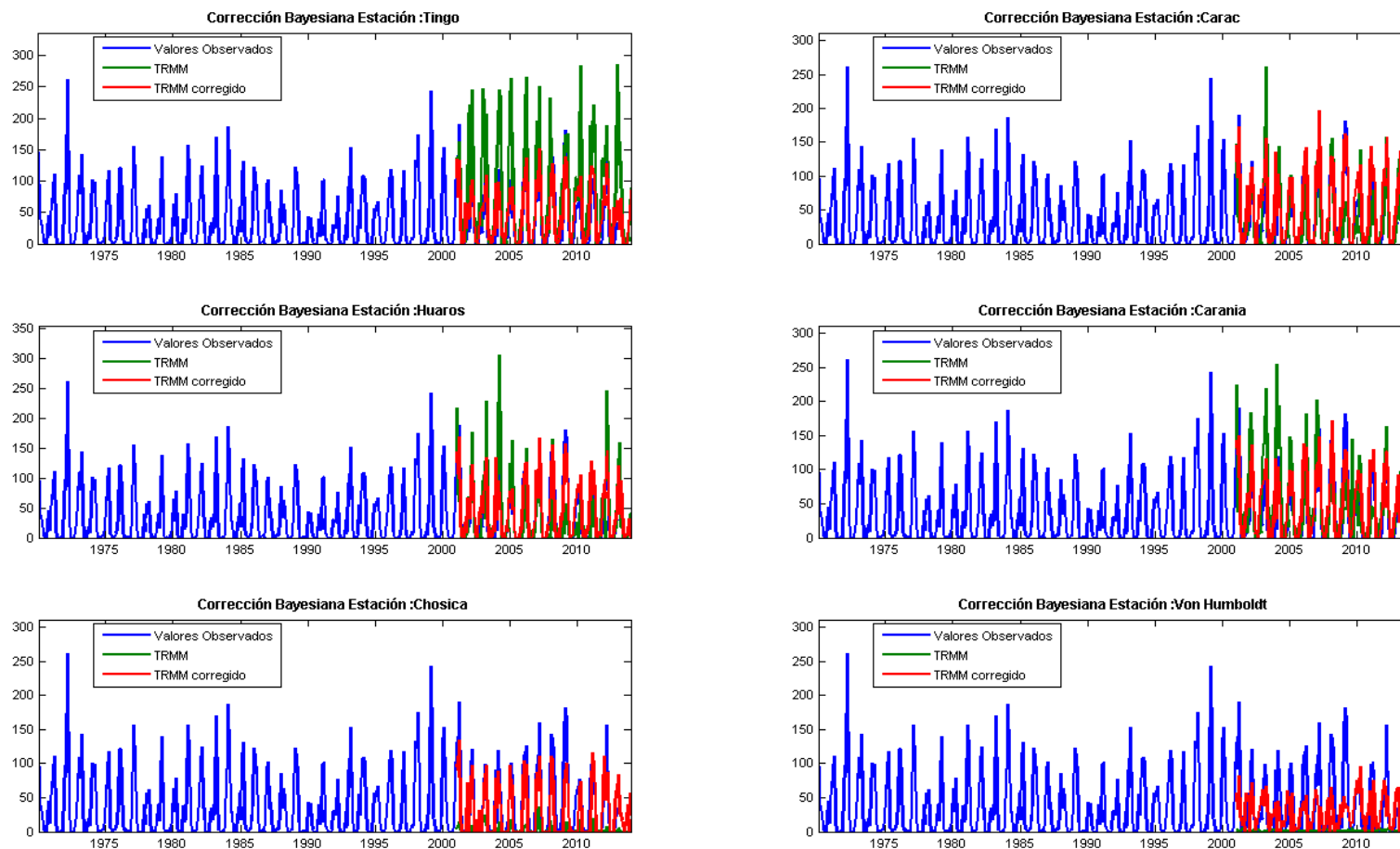




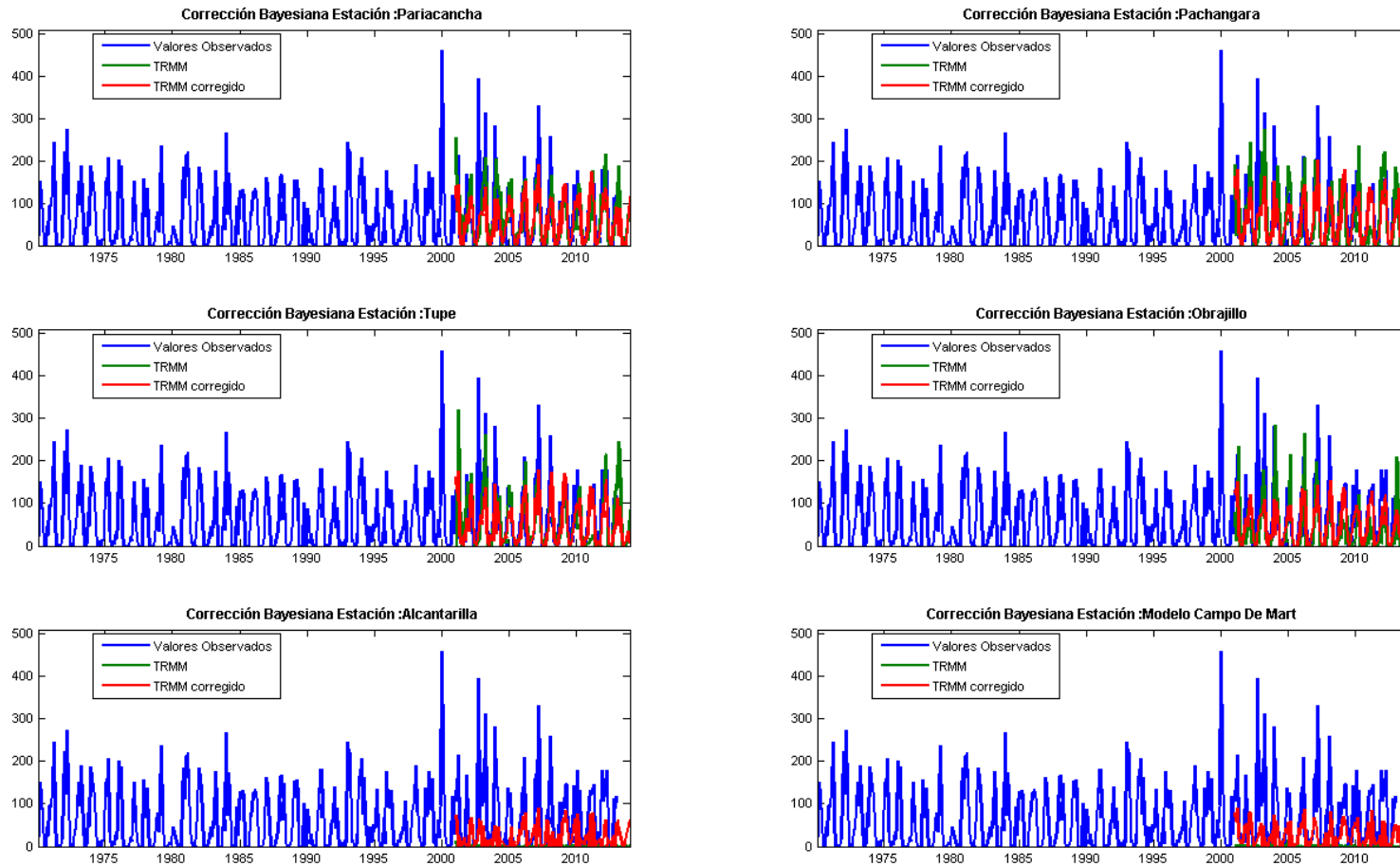
**Figura 11.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos.  
Fuente. Elaboración propia



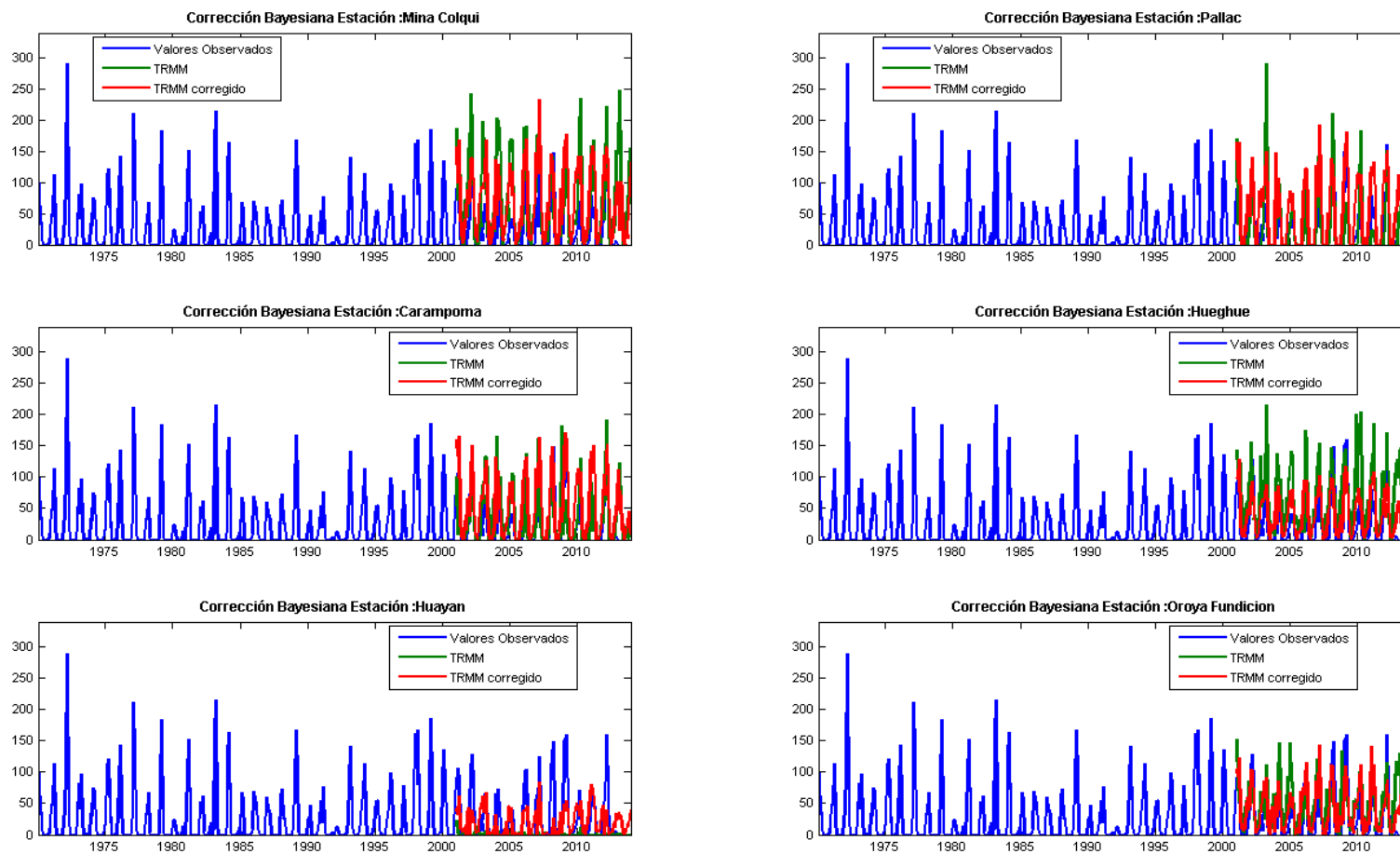
**Figura 12.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos  
Fuente. Elaboración propia



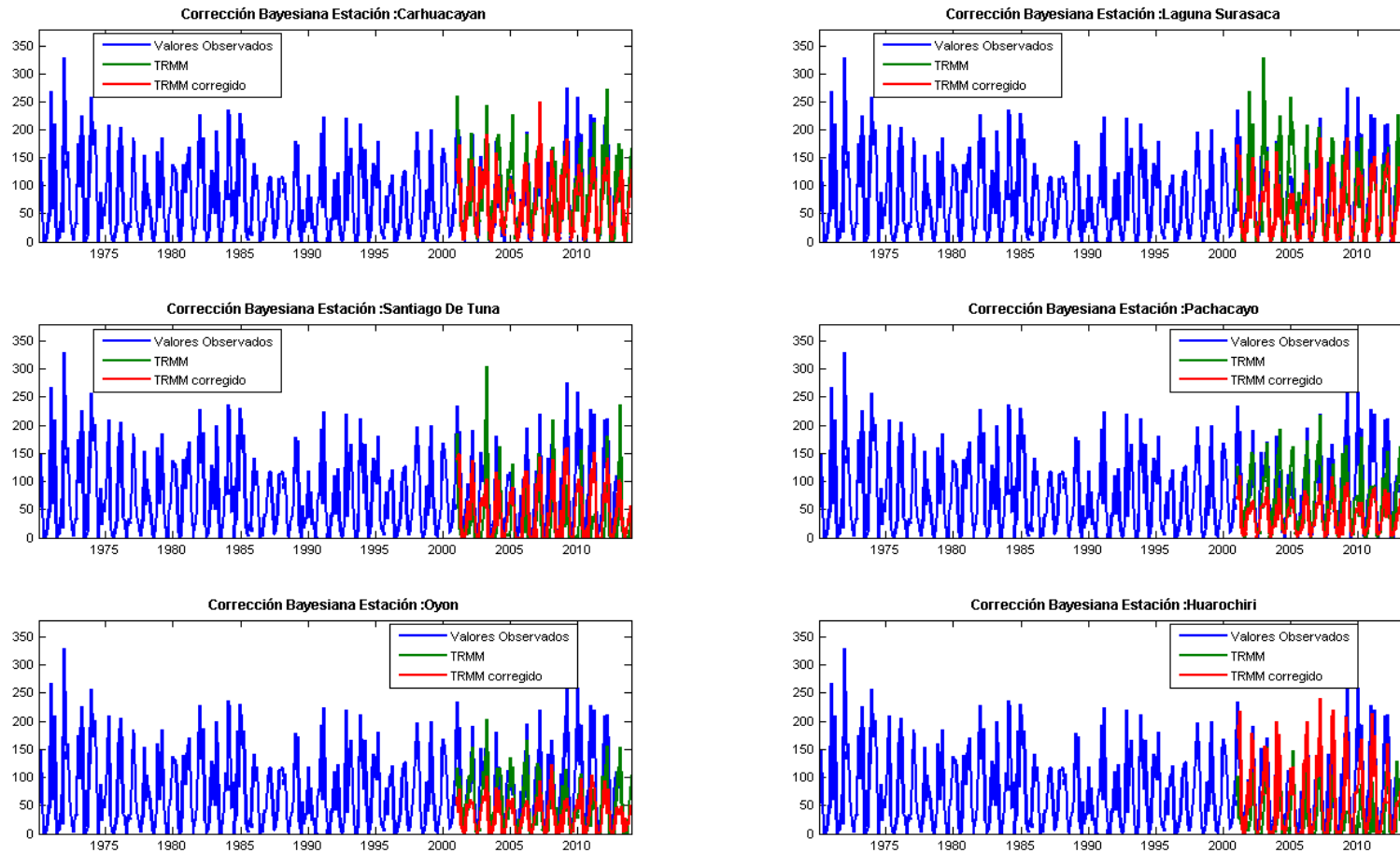
**Figura 13.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 14.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 15.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos  
Fuente. Elaboración propia



**Figura 16.** Corrección Bayesiana: línea azul: datos observados, línea verde: datos TRMM, línea roja: datos TRMM corregidos  
Fuente. Elaboración propia