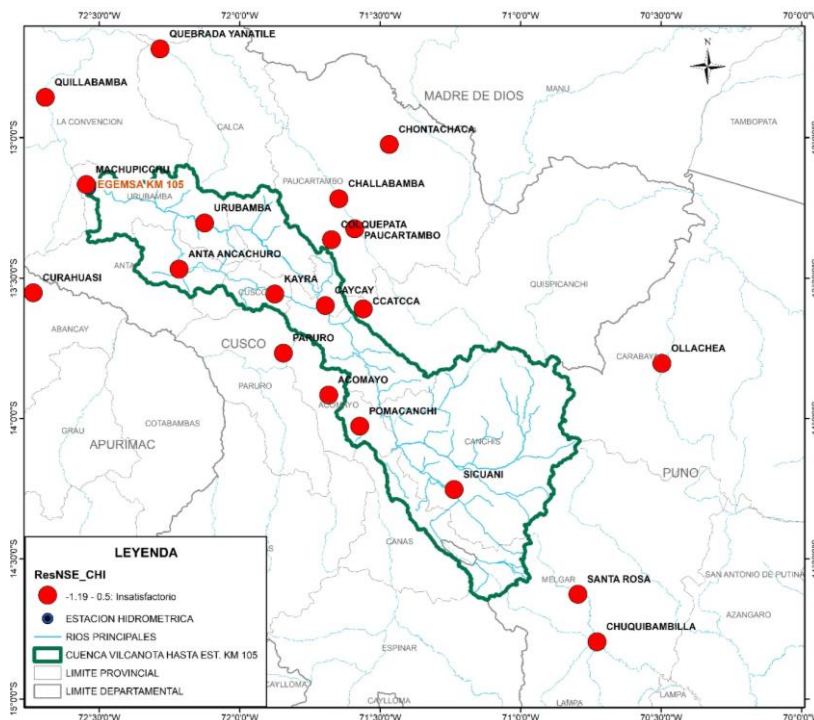


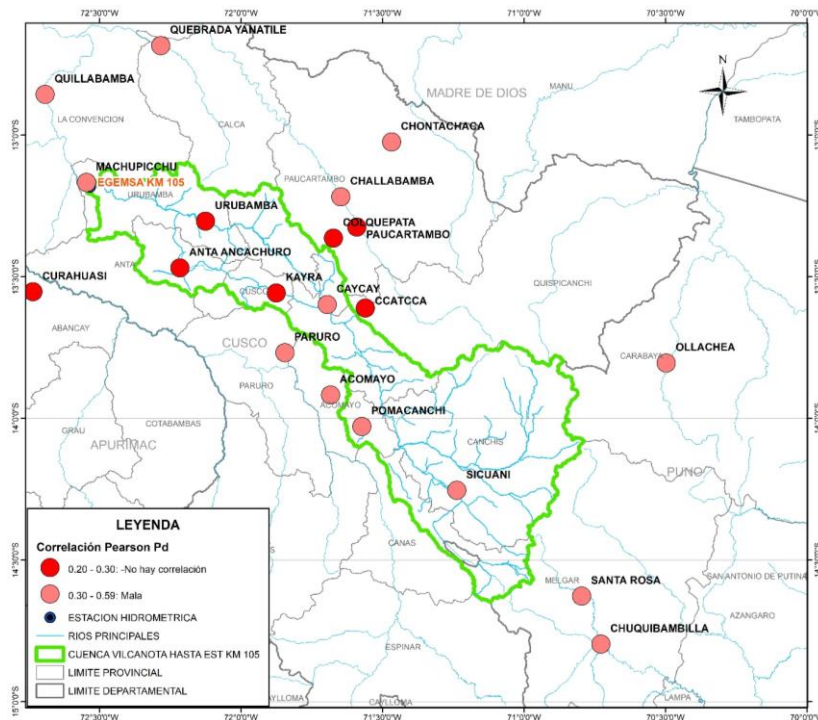
**Figura 57.** Variación espacial del Sesgo Porcentual (PBIAS) de la precipitación diaria.

En cuanto a la NSE según muestra la **Figura 58**, en todas las estaciones de precipitación diaria se tiene NSE menores a 0.50, lo que nos indica que la eficiencia se considera como insatisfactoria.



**Figura 58.** Variación espacial de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación diaria.

Según los criterios considerados para la evaluación en la Correlación de datos, en las estaciones Curahuasi, Anta, Urubamba, Kayra, Colquepata, Paucartambo y Ccatcca no hay correlación en la precipitación diaria del producto CHIRPS con los datos observados, así como se muestra en la **Figura 59**, y en el resto de las estaciones la correlación se considera mala.



**Figura 59.** Variación espacial de la Correlación de Pearson ( $r$ ) de la precipitación diaria.

### 3.6.2.4. Comparación con otros productos de precipitación diaria

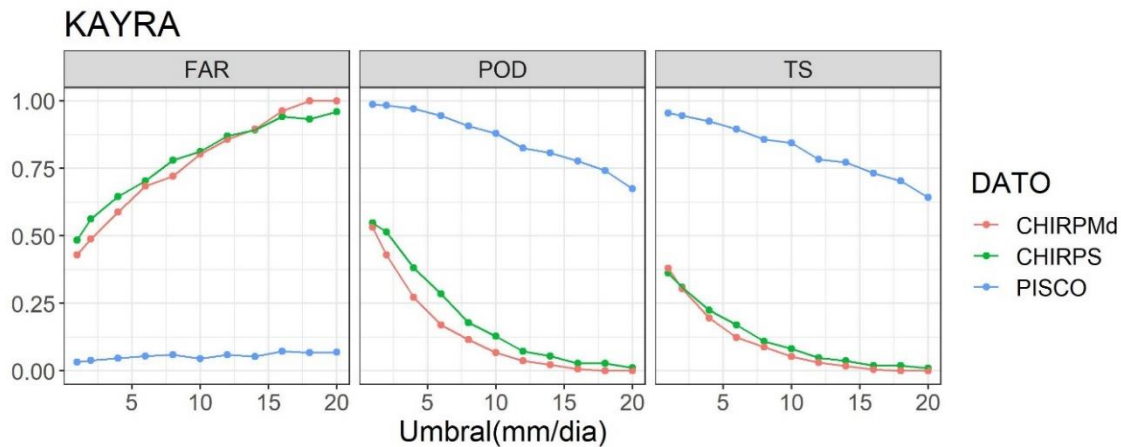
#### Estación Kayra

##### 1. Según estadísticos de validación categórica.

Para verificar y contrastar la calidad del producto CHIRPS se realiza la comparación con otros productos de precipitación diaria disponibles en la web, por lo tanto, para este caso se selecciona la estación Kayra por ser la estación con datos consistentes para la verificación de la calidad de la información satelital.

Entonces según la **Figura 60** muestra los estadísticos categóricos que evalúan las capacidades de detección de lluvia. De izquierda a derecha se puede observar que los productos CHIRPS y CHIRPM según el umbral de precipitación detectaron la precipitación, pero no los pluviómetros, ocasionando mayores indicadores de la falsa alarma (FAR) que el producto PISCO, y este indicador aumenta a medida que aumenta el umbral; por otro lado con respecto a la probabilidad de detección (POD) para el umbral de  $PO > 1.0$  mm los productos CHIRPS y

CHIRPM tienen habilidades similares pero menores a la del producto PISCO, deteriorándose a medida que se aumenta el umbral. Y finalmente se puede indicar que los valores de TS del producto PISCO son mucho mejores que los productos CHIRPS y CHIRPM.



**Figura 60.** Comparativo de los estadísticos de validación categórica. Kayra.

El detalle de cada una de las estaciones se encuentra en el anexo A.2.1.

## 2. Según estadísticos de comparación por pares

Los resultados de la evaluación estadística de cada producto se muestran en los resultados.

### 3.6.3. Precipitación Mensual

#### 3.6.3.1. Análisis de consistencia de datos mensuales

Para efectos de mostrar el procedimiento del análisis se escoge la estación Kayra, por contar con la mayor cantidad de datos observados.

##### 3.6.3.1.1. Análisis de saltos y tendencias – Kayra

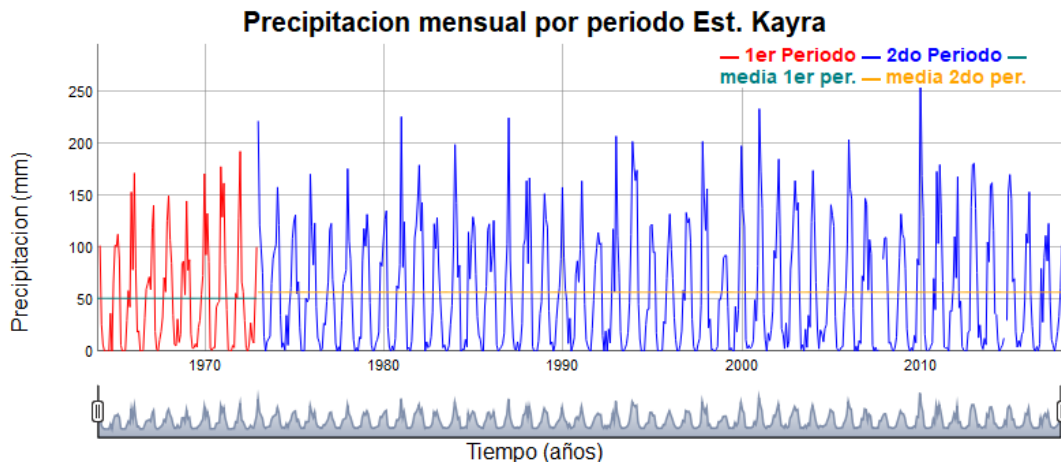
### 1. Análisis de saltos

Los datos disponibles para el análisis de consistencia son según se indica en la **Tabla 39**, definiendo los periodos de análisis: primer periodo 1964-1972 y segundo periodo 1973-2017.

**Tabla 39.** Precipitación mensual estación Kayra.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA: KAYRA													
N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1964			101.60	26.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	36.50	0.00	65.60
2	1965	101.80	100.50	112.40	88.00	5.80	0.00	0.40	1.00	29.60	58.30	42.50	153.00
3	1966	78.30	171.20	79.90	18.30	19.80	0.00	0.00	1.70	31.90	59.70	65.20	71.40
4	1967	59.10	118.40	140.30	19.00	1.80	0.60	11.00	19.00	32.80	70.90	57.20	125.60
5	1968	149.40	106.60	84.50	34.60	6.30	5.30	30.90	8.60	16.30	84.60	86.70	54.40
6	1969	144.40	77.80	88.10	16.80	2.90	3.30	7.20	3.90	22.80	29.80	54.70	72.90
7	1970	170.60	92.60	132.50	86.10	2.30	1.00	3.70	3.40	42.10	46.10	48.20	177.40
8	1971	128.90	161.60	83.60	40.00	1.50	0.10	0.00	5.70	3.50	55.70	51.00	127.50
9	1972	192.10	66.80	57.20	29.70	3.40	0.00	6.50	27.30	12.20	7.90	50.20	100.20
10	1973	221.30	120.90	99.60	75.20	14.00	0.00	9.10	11.80	14.50	65.10	88.80	96.50
11	1974	102.50	157.70	121.50	34.50	3.60	8.20	1.00	34.60	5.90	43.30	60.90	108.00
12	1975	124.70	131.00	55.30	66.80	22.50	0.70	0.30	0.60	51.10	47.50	51.00	170.10
13	1976	119.60	83.10	123.10	42.90	13.00	8.70	0.70	2.50	26.80	25.30	47.80	66.80
14	1977	116.70	122.80	69.30	47.60	7.90	0.00	4.40	0.00	29.90	65.00	71.50	78.00
15	1978	175.40	106.10	88.50	48.70	11.40	0.00	3.40	0.00	13.70	12.30	86.70	117.90
16	1979	101.10	131.60	108.80	46.80	6.20	0.00	0.90	8.10	11.50	18.40	85.60	81.80
17	1980	106.20	126.40	135.00	23.20	3.70	0.00	5.30	1.00	12.60	62.90	60.20	83.10
18	1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30
19	1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60
20	1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20
21	1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80
22	1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40
23	1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70
24	1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60
25	1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70
26	1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.70	60.70	88.50
27	1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50
28	1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00
29	1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00
30	1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50
31	1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90
32	1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60
33	1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	58.40	49.00	133.20
34	1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40
35	1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90
36	1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50
37	2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00
38	2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40
39	2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40
40	2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80
41	2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90
42	2005	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50
43	2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20
44	2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00			88.40
45	2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90
46	2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90
47	2010	268.50	168.50	129.20	16.60	1.30	0.00	1.40	4.70	8.20	70.00	40.00	172.70
48	2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20
49	2012	70.50	167.70	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50
50	2013	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40
51	2014	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60		29.60	152.10
52	2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00
53	2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80
54	2017	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70
<b>Max. (mm)</b>		<b>268.50</b>	<b>184.60</b>	<b>173.90</b>	<b>108.90</b>	<b>25.30</b>	<b>31.80</b>	<b>30.90</b>	<b>34.60</b>	<b>51.10</b>	<b>114.60</b>	<b>201.50</b>	<b>201.50</b>
<b>Min. (mm)</b>		<b>59.10</b>	<b>58.70</b>	<b>22.60</b>	<b>7.60</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>7.90</b>	<b>0.00</b>	<b>54.40</b>
<b>Media (mm)</b>		<b>144.96</b>	<b>122.31</b>	<b>97.54</b>	<b>41.17</b>	<b>6.64</b>	<b>3.62</b>	<b>3.81</b>	<b>5.95</b>	<b>17.71</b>	<b>47.86</b>	<b>70.15</b>	<b>110.64</b>
<b>Des. Estandar</b>		<b>46.30</b>	<b>31.75</b>	<b>34.29</b>	<b>23.28</b>	<b>6.04</b>	<b>5.98</b>	<b>6.41</b>	<b>7.27</b>	<b>12.61</b>	<b>24.67</b>	<b>33.91</b>	<b>34.32</b>

La selección del periodo se muestra en la *Figura 61*, además se muestra el valor medio para cada periodo.



**Figura 61.** Serie de tiempo de la precipiación mensual por periodo seleccionado – Kayra.

**Consistencia en la media**

Mediante la prueba estadística T de Student se analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes. A continuación, se calcula los promedios y las desviaciones estándar para cada periodo según las ecuaciones.

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \qquad S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n_1 = 106 \qquad \bar{x}_1 = 50.88 \qquad S_1(x) = 50.78$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \qquad S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n_2 = 537 \qquad \bar{x}_2 = 56.76 \qquad S_2(x) = 56.74$$

Donde:

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  : Media del periodo 1 y 2, respectivamente.

$X_i, X_j$  : Información de análisis en el periodo 1 y 2, respectivamente.

$S_1(x), S_2(x)$  : Desviación estándar del periodo 1 y 2, respectivamente.

$n_1, n_2$  : Número de datos de cada periodo.



$n$  : Tamaño total de la muestra ( $n = n_1 + n_2$ ).

El procedimiento a seguir es de la siguiente manera:

1. Se establecen las hipótesis y nivel de significación.

$H_p: \mu_1 = \mu_2$  (significa que existe igualdad o semejanza entre las medias poblacionales de los periodos 1 y 2).

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$  (no existe semejanza entre las medias poblacionales de los periodos 1 y 2).

$\alpha = 0.05$  (Nivel de significancia del 5%).

2. Cálculo de las desviaciones estándar de las diferencias de los promedios

$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad S_p = 55.81$$

$$S_d = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2} \quad S_d = 5.93$$

3. Calculando el Tc (T calculado)

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \quad t_c = 0.990$$

Asumiendo la semejanza:  $\mu_1 - \mu_2 = 0$  (Según planteamos en la hipótesis).

4. Calculando el Tt (T tabulado)

si  $\frac{\alpha}{2} = 0.025$  la tabla es de dos colas

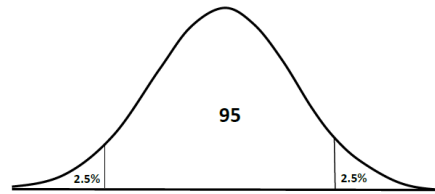
$$G.L. = n_1 + n_2 - 2 = 641$$

Donde:

$G.L.$  = Grados de libertad.

$\alpha$  = Nivel de significación.

**Tabla 40.** Distribucion “t – Student”.



GL	$\alpha/2$							
	0.400	0.300	0.200	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.3249	0.7265	1.3764	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
2	0.2887	0.6172	1.0607	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	0.2767	0.5844	0.9785	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	0.2707	0.5686	0.9410	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.2672	0.5594	0.9195	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.2648	0.5534	0.9057	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.2632	0.5491	0.8960	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	0.2619	0.5459	0.8889	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.2610	0.5435	0.8834	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.2602	0.5415	0.8791	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.2596	0.5399	0.8755	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.2590	0.5386	0.8726	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.2586	0.5375	0.8702	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.2582	0.5366	0.8681	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.2579	0.5357	0.8662	1.3406	1.7531	2.1314	2.6025	2.9467
16	0.2576	0.5350	0.8647	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.2573	0.5344	0.8633	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.2571	0.5338	0.8620	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.2569	0.5333	0.8610	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.2567	0.5329	0.8600	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.2566	0.5325	0.8591	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.2564	0.5321	0.8583	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.2563	0.5317	0.8575	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.2562	0.5314	0.8569	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	0.2561	0.5312	0.8562	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.2560	0.5309	0.8557	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.2559	0.5306	0.8551	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.2558	0.5304	0.8546	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.2557	0.5302	0.8542	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.2556	0.5300	0.8538	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
50	0.2547	0.5278	0.8489	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
100	0.2540	0.5261	0.8452	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
200	0.2537	0.5252	0.8434	1.2858	1.6525	1.9719	2.3451	2.6006
500	0.2535	0.5247	0.8423	1.2832	1.6479	1.9647	2.3338	2.5857
641	0.2535	0.5247	0.8422	1.2829	1.6472	1.9637	2.3322	2.5835
1000	0.2534	0.5246	0.8420	1.2824	1.6464	1.9623	2.3301	2.5808

Fuente: Elaboración con la herramienta de Excel, DISTR.T.INV(Probabilidad-  $\alpha/2$ ,GL).

$$t_t = 1.964$$

5. Criterio de decisión:

Si:  $|T_c| \leq |T_t|$  (95%) entonces  $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ , estadísticamente las medias son iguales.

Si:  $|T_c| > |T_t|$  (95%) entonces  $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ , estadísticamente las medias son diferentes (no hay semejanza) por lo tanto se define la existencia de salto.

**Como  $|T_c = 0.99| < |T_t = 1.96|$  entonces, estadísticamente las medias son iguales, por lo tanto no se debe corregir la información.**

### Consistencia en la desviación estándar

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza con la prueba “F” de Fisher según el procedimiento:

- Se calcula la varianza en ambos periodos

$$S_1^2(x) = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad S_1^2(x) = 2578.935$$

$$S_2^2(x) = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \quad S_2^2(x) = 3219.431$$

1. Planteando la hipótesis y el nivel de significancia:

$H_p: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (se considera varianzas poblacionales semejantes).

$H_p: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (se considera varianzas poblacionales semejantes).

$\alpha = 0.05$  (Nivel de significancia del 5%).

2. Calculando  $F_c$  (F calculado)

$$F_c = \left[ \frac{S_1(x)}{S_2(x)} \right]^2, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \left[ \frac{S_2(x)}{S_1(x)} \right]^2, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Como:  $S_2^2(x) > S_1^2(x)$ , entonces  $F_c = \left[ \frac{S_2(x)}{S_1(x)} \right]^2 \quad F_c = 1.248$



3. Encontrar el valor de Ft (F tabulado) según las tablas:

Para:  $\alpha = 0.05$

$$\left[ \begin{matrix} GLN = n_1 - 1 \\ GLD = n_2 - 1 \end{matrix} \right] \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\left[ \begin{matrix} GLN = n_2 - 1 \\ GLD = n_1 - 1 \end{matrix} \right] \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Como:  $S_2^2(x) > S_1^2(x)$ , entonces  $G.L.N. = n_2 - 1 = 536$ ,  $G.L.D. = n_1 - 1 = 105$

Donde:

$\alpha$  : Nivel de significación.

G.L.N : Grados de libertad del numerador.

G.L.D. : Grados de libertad del denominador.

**Tabla 41.** Valores de distribución de Fisher F,  $\alpha=0.05$

n1	30	40	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	536	1000
n2														
10	2.700	2.661	2.637	2.588	2.572	2.563	2.558	2.555	2.553	2.551	2.549	2.548	2.547	2.543
15	2.247	2.204	2.178	2.123	2.105	2.095	2.089	2.085	2.083	2.081	2.079	2.078	2.077	2.072
20	2.039	1.994	1.966	1.907	1.886	1.875	1.869	1.865	1.862	1.859	1.858	1.856	1.855	1.850
25	1.919	1.872	1.842	1.779	1.757	1.746	1.739	1.735	1.731	1.729	1.727	1.725	1.724	1.718
30	1.841	1.792	1.761	1.695	1.672	1.660	1.652	1.647	1.644	1.641	1.639	1.637	1.636	1.630
35	1.786	1.735	1.703	1.635	1.610	1.598	1.590	1.585	1.581	1.578	1.576	1.574	1.573	1.566
40	1.744	1.693	1.660	1.589	1.564	1.551	1.542	1.537	1.533	1.530	1.528	1.526	1.525	1.517
45	1.713	1.660	1.626	1.554	1.527	1.513	1.505	1.499	1.495	1.492	1.490	1.488	1.487	1.479
50	1.687	1.634	1.599	1.525	1.498	1.484	1.475	1.469	1.465	1.461	1.459	1.457	1.456	1.448
55	1.666	1.612	1.577	1.501	1.473	1.459	1.450	1.444	1.439	1.436	1.433	1.431	1.430	1.422
60	1.649	1.594	1.559	1.481	1.453	1.438	1.428	1.422	1.418	1.414	1.412	1.409	1.408	1.399
65	1.635	1.579	1.543	1.464	1.435	1.420	1.410	1.404	1.399	1.396	1.393	1.391	1.389	1.380
70	1.622	1.566	1.530	1.450	1.420	1.404	1.394	1.388	1.383	1.379	1.377	1.374	1.373	1.364
75	1.611	1.555	1.518	1.437	1.407	1.391	1.381	1.374	1.369	1.365	1.362	1.360	1.359	1.349
80	1.602	1.545	1.508	1.426	1.395	1.379	1.368	1.361	1.356	1.353	1.350	1.347	1.346	1.336
85	1.593	1.536	1.499	1.416	1.384	1.368	1.357	1.350	1.345	1.341	1.338	1.336	1.334	1.325
90	1.586	1.528	1.491	1.407	1.375	1.358	1.348	1.340	1.335	1.331	1.328	1.326	1.324	1.314
95	1.579	1.521	1.484	1.399	1.367	1.350	1.339	1.331	1.326	1.322	1.319	1.316	1.315	1.304
100	1.573	1.515	1.477	1.392	1.359	1.342	1.331	1.323	1.318	1.314	1.311	1.308	1.306	1.296
105	1.568	1.509	1.471	1.385	1.352	1.334	1.323	1.316	1.310	1.306	1.303	1.300	1.299	1.288
150	1.535	1.475	1.436	1.345	1.309	1.290	1.278	1.269	1.263	1.258	1.255	1.252	1.250	1.238
200	1.516	1.455	1.415	1.321	1.283	1.263	1.249	1.240	1.234	1.228	1.224	1.221	1.219	1.205
250	1.505	1.443	1.402	1.306	1.267	1.246	1.232	1.222	1.215	1.209	1.205	1.202	1.199	1.185
300	1.497	1.435	1.393	1.296	1.256	1.234	1.220	1.210	1.202	1.196	1.192	1.188	1.186	1.170
400	1.488	1.425	1.383	1.283	1.242	1.219	1.204	1.193	1.185	1.179	1.174	1.170	1.167	1.150
500	1.482	1.419	1.376	1.275	1.233	1.210	1.194	1.183	1.175	1.168	1.163	1.159	1.156	1.138
1000	1.471	1.406	1.363	1.260	1.216	1.190	1.174	1.161	1.152	1.145	1.139	1.134	1.131	1.110

Fuente: Elaborado con función de Excel, DISTR.F.INV(Probabilidad- $\alpha$ , G.L.N, G.L.D).

$$F_t = 1.299$$



4. Probabilidad a decidir:

*Si:  $F_c \leq F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) = S_2(x)$  se considera que las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.*

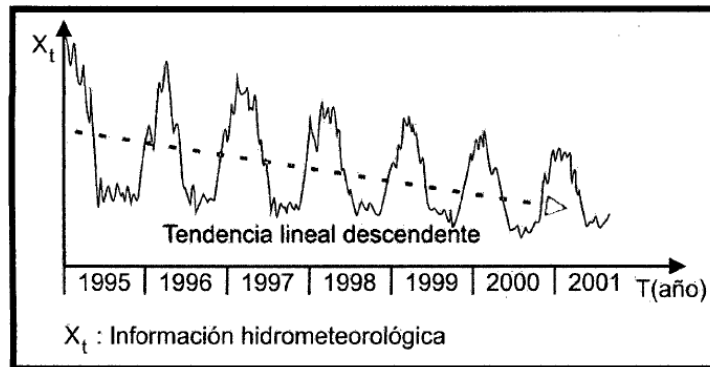
*Si:  $F_c > F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) \neq S_2(x)$ , las desviaciones estándar son diferentes estadísticamente por lo tanto se considera a que existe salto.*

**Como:  $F_c = 1.248 < F_t = 1.299$  (95%) entonces  $S_1(x) = S_2(x)$ , se considera que las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.**

**Por lo tanto, no se debe corregir la información.**

**En resumen, en este caso de los datos de la estación Kayra tanto la media y la desviación estándar no deben ser corregidos de acuerdo a los resultados de las pruebas “t” y “F”; por lo que se determina que la precipitación en la estación Kayra no presenta saltos.**

**2. Análisis de tendencias**



**Figura 62.** Identificación de tendencia en un hidrograma.

**3. Procedimiento para el análisis de tendencia**

De acuerdo a la recopilación de la investigación de (Mosqueira, 2016) se tiene.

- a. Establecer la hipótesis planteada y las alternativas posibles, así como el nivel de significancia.

$H_0: \beta_0=0$	(Pendiente de la ecuación de regresión lineal)
$H_1: \beta_1 \neq 0$	
$\alpha=0.05$	Nivel de significación

Donde:

$H_0$  : Hipótesis nula.

$H_1$  : Hipótesis alternativa.

$\alpha$  : Nivel de significación o error máximo.

**Tabla 42.** Organización de los datos de precipitación pluvial mensual de la estación Kayra.

N (xi)	Año	Mes	Precipitación (yi)
1	1964	MAR	101.6
2	1964	ABR	26
3	1964	MAY	6.5
4	1964	JUN	0
5	1964	JUL	0
6	1964	AGO	0
7	1964	SET	0
8	1964	OCT	36.5
9	1964	NOV	0
10	1964	DIC	65.6
11	1965	ENE	101.8
12	1965	FEB	100.5
.			
.			
.			
632	2017	ENE	111.2
633	2017	FEB	86.9
634	2017	MAR	122.8
635	2017	ABR	47.5
636	2017	MAY	11.2
637	2017	JUN	5.9
638	2017	JUL	0
639	2017	AGO	8.4
640	2017	SET	19
641	2017	OCT	33.7
642	2017	NOV	61.4
643	2017	DIC	101.7

Del cuadro anterior se puede obtener el número de meses con observaciones de precipitación pluvial mensual acumulada desde el año 1964 a 2017.

n=643

#### Cálculo de la media aritmética del tiempo – estación Kayra

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

$\bar{x}$ : Media aritmética de los datos de precipitación pluvial.

$x_i$ : Número de mes con valor de precipitación pluvial mensual acumulada.

$n$ : Número de meses que cuentan con valot de precipitación pluvial mensual acumulada.

Entonces:

$$\bar{x} = 322$$

### Cálculo de la media aritmética de los datos de precipitación pluvial – estación Kayra

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Donde:

$\bar{y}$ : Media aritmética de los datos de precipitación pluvial.

$y_i$ : Número de mes con valor de precipitación pluvial mensual acumulada.

$n$ : Número de meses que cuentan con valot de precipitación pluvial mensual acumulada.

Entonces:

$$\bar{y} = 55.79$$

#### b. Cálculo del estadístico to para la prueba de hipótesis en regresión lineal simple

- Cálculo de la sumatoria de XX, YY y XY.

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad S_{xx} = 22153922$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad S_{yy} = 1999456$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad S_{xy} = 125167.8$$

Donde:

$x_i$  : Precipitación mensual.

$\bar{x}$  : Media aritmética del tiempo (meses).

$\bar{y}$  : Media aritmética de los datos de precipitación.

$n$  : Número de meses.

- Cálculo de la pendiente de la línea de tendencia

$$b_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad b_1 = \frac{125167.8}{22153922} \quad b_1 = 0.0056$$



Donde :

$b_1$  : Pendiente de la recta de tendencia.

- Cálculo del error estándar de estimación

$$S = \sqrt{\frac{S_{yy} - b_1 * S_{xy}}{n - 2}} \quad S = 55.84$$

Donde:

$S$  : Error estándar de estimación.

- Cálculo del estadístico  $t_o$  para la prueba de hipótesis en regresión lineal.

$$t_o = \frac{b}{\frac{S}{\sqrt{S_{xx}}}} \quad t_o = 0.4762$$

Donde:

$t_o$  : Estadístico para prueba de hipótesis en regresión lineal.

### c. Cálculo estadístico de prueba de hipótesis tabulado

Este valor se obtiene de la tabla de distribución “T”, la cual se encuentra en los anexos de este trabajo de investigación.

Para ubicar el valor T tabulado ( $T_t$ ) en la tabla, se requiere:

$$\alpha = 0.05$$

$$G.L = n - 2 = 643 - 2 = 641$$

Donde:

$\alpha$  : Nivel de significación.

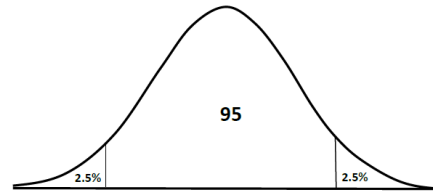
$G.L$  : Grado de libertad.

$n$  : Número de meses que cuentan con datos de precipitación pluvial mensual acumulada.

El valor de “ $t_t$ ” con el 95% de probabilidad, el cual se calcula mediante la tabla de Student con:

$$\alpha = 0.05 \quad G.L = 641$$

**Tabla 43.** Distribución “t – Student”.



GL	$\alpha/2$							
	0.400	0.300	0.200	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.3249	0.7265	1.3764	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
2	0.2887	0.6172	1.0607	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	0.2767	0.5844	0.9785	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	0.2707	0.5686	0.9410	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.2672	0.5594	0.9195	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.2648	0.5534	0.9057	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.2632	0.5491	0.8960	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	0.2619	0.5459	0.8889	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.2610	0.5435	0.8834	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.2602	0.5415	0.8791	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.2596	0.5399	0.8755	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.2590	0.5386	0.8726	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.2586	0.5375	0.8702	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.2582	0.5366	0.8681	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.2579	0.5357	0.8662	1.3406	1.7531	2.1314	2.6025	2.9467
16	0.2576	0.5350	0.8647	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.2573	0.5344	0.8633	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.2571	0.5338	0.8620	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.2569	0.5333	0.8610	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.2567	0.5329	0.8600	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
30	0.2556	0.5300	0.8538	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
50	0.2547	0.5278	0.8489	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
100	0.2540	0.5261	0.8452	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
200	0.2537	0.5252	0.8434	1.2858	1.6525	1.9719	2.3451	2.6006
500	0.2535	0.5247	0.8423	1.2832	1.6479	1.9647	2.3338	2.5857
641	0.2535	0.5247	0.8422	1.2829	1.6472	1.9637	2.3322	2.5835
1000	0.2534	0.5246	0.8420	1.2824	1.6464	1.9623	2.3301	2.5808

Fuente: Elaboración con la herramienta de Excel, DISTR.T.INV(Probabilidad-  $\alpha/2$ ,GL).

Entonces  $t_t = 1.9637$

Conclusión

**Si  $t_o = 0.4762 < t_t = 1.9637$  entonces  $\beta_0 = 0$  (Estadísticamente), se acepta la hipótesis nula  $H_o$ .**

**Entonces los datos no deben ser corregidos ya que significa que la pendiente de la línea de tendencia no es significativa.**

**3.6.3.1.2. Análisis de saltos y tendencias – Colquepata**

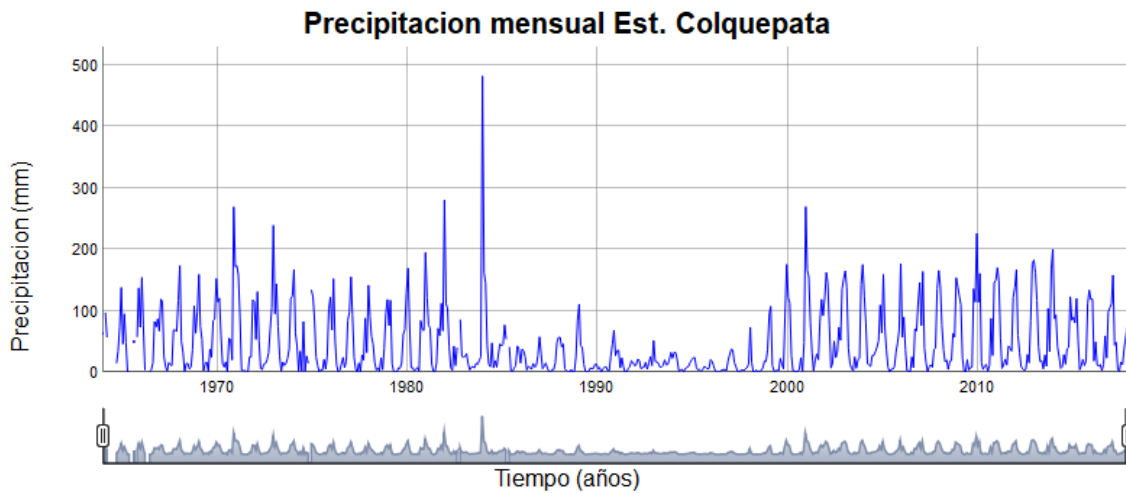
**1. Análisis de saltos**

Los datos disponibles para el análisis de consistencia se muestran en la **Tabla 44**, como se observa son los datos originales facilitadas por SENAMHI.

**Tabla 44.** Datos de precipitación mensual estación Colquepata.

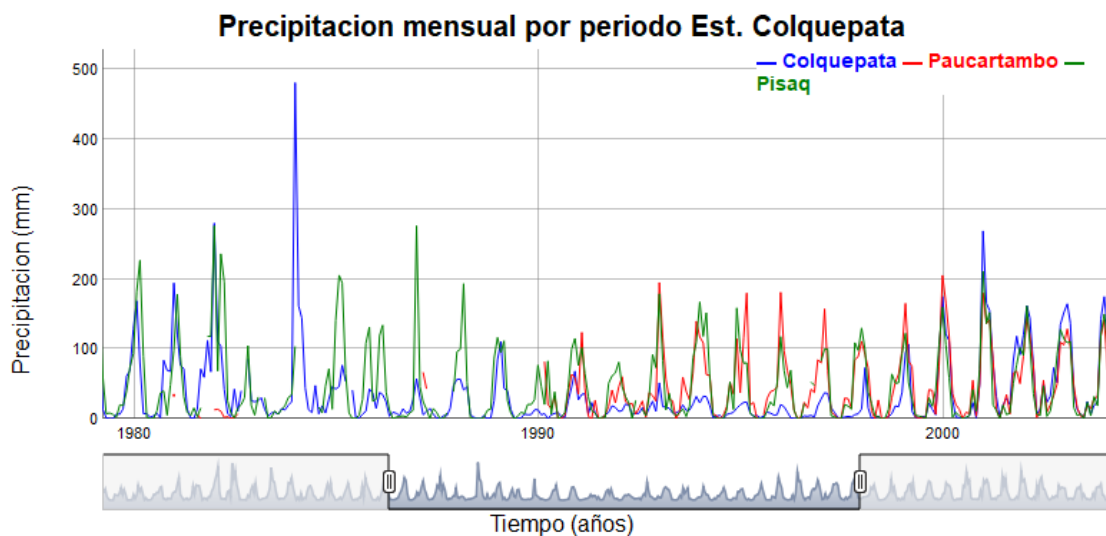
ESTACIÓN METEOROLÓGICA: COLQUEPATA													
N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1964	62.80		96.70	56.50						14.43	34.15	73.90
2	1965	137.56	45.70	94.70	48.14	0.00	0.00			49.60		57.00	136.90
3	1966	72.90	153.80	75.90	3.20			0.00	3.70	15.60	82.23	73.62	86.46
4	1967	66.84	118.53	114.91	26.00	9.03	1.63	15.33	11.95	10.84	68.51	68.54	65.77
5	1968	116.28	173.05	50.04	32.53	1.02	13.72	14.33	5.06	8.42	36.24	107.93	63.23
6	1969	97.05	158.85	73.65	53.41	2.05	13.83	16.50	1.14	37.42	24.03	83.96	86.16
7	1970	152.11	114.02	120.32	59.25	13.63	8.20	16.62	0.05	55.12	52.86	19.84	268.81
8	1971	171.21	172.91	157.41	87.20	3.04	2.36	2.62	0.02	0.06	24.73	24.46	117.32
9	1972	114.55	53.17	130.74	49.75	5.92	4.22	13.01	13.76	19.44	31.16	70.11	104.86
10	1973	238.65	94.92	143.62	73.85	26.33	1.44	16.33	10.77	13.99	22.74	37.78	119.54
11	1974	123.67	166.75	64.04	42.32	1.03	34.03	1.02	82.25	1.07	26.30	14.35	
12	1975	133.66	122.46	87.05	24.85	10.66	0.05	3.83	2.73	20.49	4.97	25.53	101.85
13	1976	121.85	68.26	151.81	51.51	11.02	0.04	2.82	13.67	23.96	7.12	18.03	83.86
14	1977	97.67	154.75	92.48	24.42	4.85	0.01	14.83	0.02	27.83	19.55	87.67	31.76
15	1978	141.37	89.99	57.96	45.86	16.13	3.40	6.72	1.40	23.25	3.91	38.84	94.67
16	1979	118.02	75.56	116.73	13.36	1.23	0.02	0.01	6.85	6.23	14.14	61.14	68.76
17	1980	128.35	168.82	80.05	7.14	7.32	1.83	4.10	7.71	1.23	83.68	69.23	67.73
18	1981	194.40	120.90	76.40	71.60	14.10	1.20	0.00	14.30	71.20	59.20	111.70	67.10
19	1982	280.10	110.80	103.70	41.80	7.30	3.00	42.30	10.60	40.00		85.50	25.40
20	1983	24.40	25.40	30.10	13.50	3.50	8.20	9.00	6.70	14.30	12.50	19.30	24.40
21	1984	481.40	161.70	144.20	44.20	12.70	8.80	47.50	6.80	18.60	8.10	28.30	45.90
22	1985	42.40	46.00	76.60	53.30		40.90	2.20	1.00	6.60	10.70	42.60	36.50
23	1986	14.70	37.50	34.50	24.30	3.40	9.30	7.70	4.50	14.20	7.80	10.40	27.00
24	1987	57.30	30.00	5.60	10.00	14.80	6.60	1.00	0.00	4.20	4.20	14.80	47.60
25	1988	56.50	56.50	41.10	45.70	5.60	2.10	0.00	0.00	4.30	0.00	1.20	25.60
26	1989	84.30	110.50	43.20	40.00	13.20	1.20	0.00	1.10	6.50	5.60	5.90	12.70
27	1990	12.80	5.30	7.40	0.00	5.40	7.60	9.00	2.60	2.10	25.40	45.30	68.10
28	1991	26.90	34.90	35.60	6.70	23.30	8.80	0.00	0.00	5.70	8.90	18.40	16.20
29	1992	10.30	11.50	20.90	19.30	5.80	7.40	7.70	15.90	4.60	15.00	25.10	10.50
30	1993	51.40	17.10	16.60	14.90	8.10	8.10	10.80	19.80	11.70	12.30	21.00	31.90
31	1994	22.50	32.10	31.60	19.00	1.50	3.30	4.80	0.00	6.10	7.30	9.10	15.00
32	1995	19.70	23.20	23.80	8.00	3.50	4.50	1.20	3.60	9.20	8.00	5.10	5.70
33	1996	20.20	17.20	9.60	1.30	0.00	0.00	0.00	3.90	3.50	4.60	2.50	18.50
34	1997	28.30	37.20	36.00	15.60	9.20	1.20	1.20	2.30	3.30	2.40	5.70	6.90
35	1998	13.80	73.00	15.40	0.20	1.20	3.50	0.10	1.20	2.80	7.10	18.30	17.10
36	1999	37.20	94.50	106.90	10.80	2.20	1.20	3.30	2.30	22.20	13.30	5.40	91.70
37	2000	175.10	121.30	111.60	27.20	2.40	1.30	1.30	1.10	4.70	23.30	1.20	48.20
38	2001	269.00	165.40	155.30	80.30	32.40	1.90	19.20	29.30	20.10	82.10	118.20	91.60
39	2002	120.30	162.10	144.20	75.50	6.60	14.30	50.30	23.40	32.60	73.10	51.60	135.00
40	2003	152.00	164.60	136.90	39.40	13.70	5.80	2.00	24.70	6.30	19.20	23.20	142.90
41	2004	174.90	122.90	80.20	13.50	11.70	9.30	26.70	26.90	33.20	40.40	50.90	109.00
42	2005	63.40	158.70	73.00	35.60	8.40	0.00	4.70	4.80	8.60	32.70	47.40	68.40
43	2006	176.20	56.50	89.60	36.70	2.20	1.20	0.00	24.80	7.10	70.60	67.00	113.00
44	2007	145.90	75.40	163.50	38.90	15.80	0.40	8.70	12.00	7.70	37.10	39.10	135.40
45	2008	165.20	138.90	76.70	36.60	16.80	19.60	4.40	18.20	18.60	62.90	57.00	153.50
46	2009	138.40	122.80	109.50	23.00	1.60	0.00	20.00	3.40	7.70	7.80	135.50	114.00
47	2010	225.50	113.50	160.40	15.10	4.40	10.10	12.50	1.30	10.50	87.40	27.10	145.80
48	2011	149.10	169.90	148.60	55.90	6.10	12.00	21.00	11.30	42.50	39.20	34.10	121.30
49	2012	137.20	166.50	60.00	32.20	9.30	5.00	2.70	4.80	28.80	15.20	82.90	175.30
50	2013	182.30	160.60	116.60	41.60	17.20	18.50	5.30	27.70	9.50	103.70	33.20	169.20
51	2014	199.60	86.70	93.00	40.80	25.40	6.10	8.80	28.50	12.80	37.90	40.00	122.60
52	2015	84.20	89.60	79.90	120.00	52.10	3.80	10.10	20.60	10.70	18.60	111.00	133.20
53	2016	118.00	119.10	18.00	49.00	11.40	10.20	12.20	2.40	12.70	58.90	22.90	98.30
54	2017	104.90	111.30	157.70	43.90	48.30	3.80	1.00	16.50	12.30	37.40	56.60	72.60
<b>Max. (mm)</b>		<b>481.40</b>	<b>173.05</b>	<b>163.50</b>	<b>120.00</b>	<b>52.10</b>	<b>40.90</b>	<b>50.30</b>	<b>82.25</b>	<b>71.20</b>	<b>103.70</b>	<b>135.50</b>	<b>268.81</b>
<b>Mín. (mm)</b>		<b>10.30</b>	<b>5.30</b>	<b>5.60</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>	<b>0.00</b>	<b>1.20</b>	<b>5.70</b>
<b>Media (mm)</b>		<b>117.67</b>	<b>99.67</b>	<b>84.11</b>	<b>36.01</b>	<b>10.47</b>	<b>6.44</b>	<b>9.36</b>	<b>10.37</b>	<b>16.08</b>	<b>30.32</b>	<b>43.83</b>	<b>81.41</b>
<b>Des. Estandar</b>		<b>84.76</b>	<b>52.98</b>	<b>47.21</b>	<b>24.53</b>	<b>10.89</b>	<b>7.99</b>	<b>11.51</b>	<b>13.56</b>	<b>14.93</b>	<b>27.05</b>	<b>33.65</b>	<b>53.56</b>





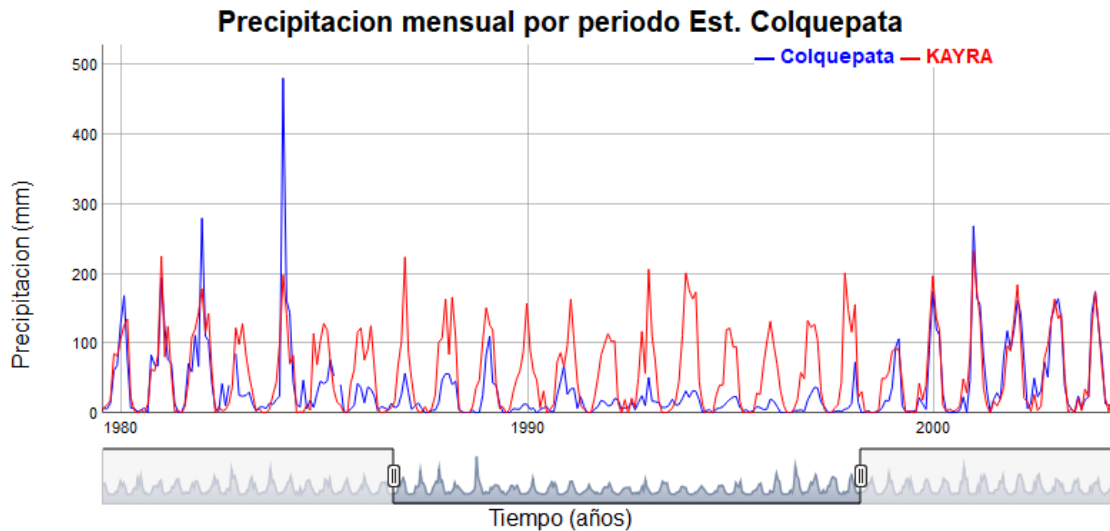
**Figura 63.** Serie de tiempo de la precipitación mensual Est. Colquepata.

Los datos iniciales de la precipitación mensual observada en la estación Colquepata se compara con datos de estaciones vecinas Paucartambo y Písaq, notándose valores atípicos entre el periodo de junio de 1982 hasta diciembre de 1999, véase la **Figura 64**.



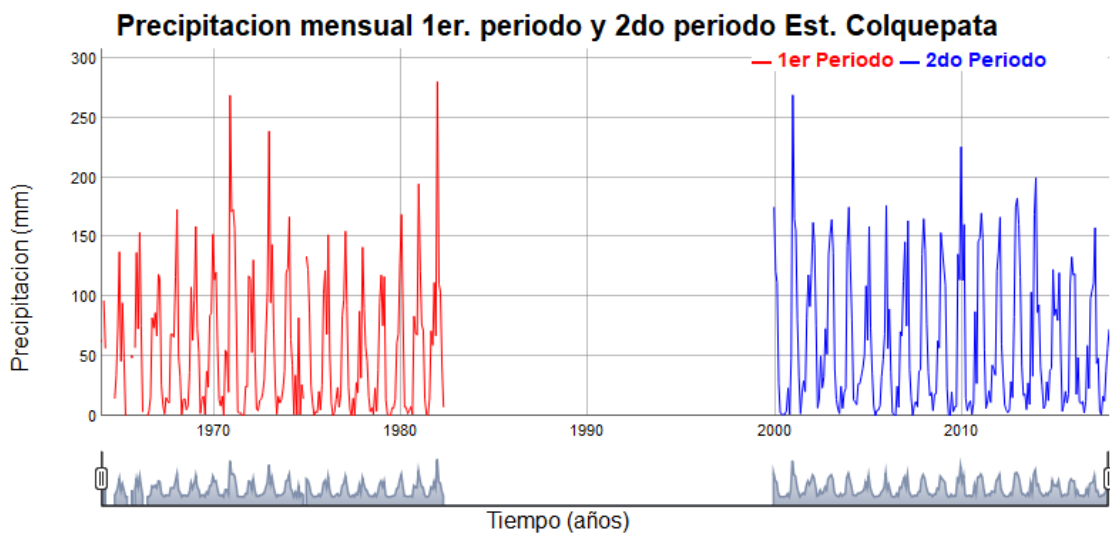
**Figura 64.** Comparativo de la precipitación de las Estaciones Colquepata-Paucartambo-Písaq.

De la misma manera se hace la comparación de los datos de la estación Colquepata con la estación Kayra, observándose también valores atípicos entre el periodo de junio de 1982 hasta diciembre de 1999, como se ve en la **Figura 65**.



**Figura 65.** Comparativo de la precipitación mensual Estaciones Colquepata-Kayra

Por lo tanto, luego del control de calidad visual de las figuras 78 y 79, se decide quitar los datos atípicos dentro del periodo de junio de 1982 hasta diciembre de 1999, así como se muestra en la **Figura 66**.



**Figura 66.** Serie de tiempo de la precipitación mensual Est. Colquepata por periodo.

Quedando finalmente para el análisis de consistencia tal como se muestra en la **Tabla 45**, y agrupada en los periodos de 1964 a 1999 como primer periodo y 2000 a 2017 como segundo periodo de análisis.

**Tabla 45.** Primero y segundo periodo de precipitación mensual – estación Colquepata.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA: COLQUEPATA													
N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1964	62.80		96.70	56.50						14.43	34.15	73.90
2	1965	137.56	45.70	94.70	48.14	0.00	0.00			49.60		57.00	136.90
3	1966	72.90	153.80	75.90	3.20			0.00	3.70	15.60	82.23	73.62	86.46
4	1967	66.84	118.53	114.91	26.00	9.03	1.63	15.33	11.95	10.84	68.51	68.54	65.77
5	1968	116.28	173.05	50.04	32.53	1.02	13.72	14.33	5.06	8.42	36.24	107.93	63.23
6	1969	97.05	158.85	73.65	53.41	2.05	13.83	16.50	1.14	37.42	24.03	83.96	86.16
7	1970	152.11	114.02	120.32	59.25	13.63	8.20	16.62	0.05	55.12	52.86	19.84	268.81
8	1971	171.21	172.91	157.41	87.20	3.04	2.36	2.62	0.02	0.06	24.73	24.46	117.32
9	1972	114.55	53.17	130.74	49.75	5.92	4.22	13.01	13.76	19.44	31.16	70.11	104.86
10	1973	238.65	94.92	143.62	73.85	26.33	1.44	16.33	10.77	13.99	22.74	37.78	119.54
11	1974	123.67	166.75	64.04	42.32	1.03	34.03	1.02	82.25	1.07	26.30	14.35	
12	1975	133.66	122.46	87.05	24.85	10.66	0.05	3.83	2.73	20.49	4.97	25.53	101.85
13	1976	121.85	68.26	151.81	51.51	11.02	0.04	2.82	13.67	23.96	7.12	18.03	83.86
14	1977	97.67	154.75	92.48	24.42	4.85	0.01	14.83	0.02	27.83	19.55	87.67	31.76
15	1978	141.37	89.99	57.96	45.86	16.13	3.40	6.72	1.40	23.25	3.91	38.84	94.67
16	1979	118.02	75.56	116.73	13.36	1.23	0.02	0.01	6.85	6.23	14.14	61.14	68.76
17	1980	128.35	168.82	80.05	7.14	7.32	1.83	4.10	7.71	1.23	83.68	69.23	67.73
18	1981	194.40	120.90	76.40	71.60	14.10	1.20	0.00	14.30	71.20	59.20	111.70	67.10
19	1982	280.10	110.80	103.70	41.80	7.30							
20	1983												
21	1984												
22	1985												
23	1986												
24	1987												
25	1988												
26	1989												
27	1990												
28	1991												
29	1992												
30	1993												
31	1994												
32	1995												
33	1996												
34	1997												
35	1998												
36	1999												
37	2000	175.10	121.30	111.60	27.20	2.40	1.30	1.30	1.10	4.70	23.30	1.20	48.20
38	2001	269.00	165.40	155.30	80.30	32.40	1.90	19.20	29.30	20.10	82.10	118.20	91.60
39	2002	120.30	162.10	144.20	75.50	6.60	14.30	50.30	23.40	32.60	73.10	51.60	135.00
40	2003	152.00	164.60	136.90	39.40	13.70	5.80	2.00	24.70	6.30	19.20	23.20	142.90
41	2004	174.90	122.90	80.20	13.50	11.70	9.30	26.70	26.90	33.20	40.40	50.90	109.00
42	2005	63.40	158.70	73.00	35.60	8.40	0.00	4.70	4.80	8.60	32.70	47.40	68.40
43	2006	176.20	56.50	89.60	36.70	2.20	1.20	0.00	24.80	7.10	70.60	67.00	113.00
44	2007	145.90	75.40	163.50	38.90	15.80	0.40	8.70	12.00	7.70	37.10	39.10	135.40
45	2008	165.20	138.90	76.70	36.60	16.80	19.60	4.40	18.20	18.60	62.90	57.00	153.50
46	2009	138.40	122.80	109.50	23.00	1.60	0.00	20.00	3.40	7.70	7.80	135.50	114.00
47	2010	225.50	113.50	160.40	15.10	4.40	10.10	12.50	1.30	10.50	87.40	27.10	145.80
48	2011	149.10	169.90	148.60	55.90	6.10	12.00	21.00	11.30	42.50	39.20	34.10	121.30
49	2012	137.20	166.50	60.00	32.20	9.30	5.00	2.70	4.80	28.80	15.20	82.90	175.30
50	2013	182.30	160.60	116.60	41.60	17.20	18.50	5.30	27.70	9.50	103.70	33.20	169.20
51	2014	199.60	86.70	93.00	40.80	25.40	6.10	8.80	28.50	12.80	37.90	40.00	122.60
52	2015	84.20	89.60	79.90	120.00	52.10	3.80	10.10	20.60	10.70	18.60	111.00	133.20
53	2016	118.00	119.10	18.00	49.00	11.40	10.20	12.20	2.40	12.70	58.90	22.90	98.30
54	2017	104.90	111.30	157.70	43.90	48.30	3.80	1.00	16.50	12.30	37.40	56.60	72.60
<b>Max. (mm)</b>		<b>280.10</b>	<b>173.05</b>	<b>163.50</b>	<b>120.00</b>	<b>52.10</b>	<b>34.03</b>	<b>50.30</b>	<b>82.25</b>	<b>71.20</b>	<b>103.70</b>	<b>135.50</b>	<b>268.81</b>
<b>Min. (mm)</b>		<b>62.80</b>	<b>45.70</b>	<b>18.00</b>	<b>3.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.06</b>	<b>3.91</b>	<b>1.20</b>	<b>31.76</b>
<b>Media (mm)</b>		<b>144.60</b>	<b>124.14</b>	<b>104.40</b>	<b>43.73</b>	<b>12.01</b>	<b>6.16</b>	<b>9.97</b>	<b>13.44</b>	<b>19.20</b>	<b>40.67</b>	<b>55.63</b>	<b>108.23</b>
<b>Des. Estandar</b>		<b>52.61</b>	<b>38.50</b>	<b>36.47</b>	<b>23.81</b>	<b>12.22</b>	<b>7.51</b>	<b>10.23</b>	<b>15.49</b>	<b>16.33</b>	<b>27.29</b>	<b>32.82</b>	<b>44.25</b>

### Consistencia en la media

Mediante la prueba estadística T de Student se analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes. A continuación, se calcula los promedios y las desviaciones estándar para cada periodo según las ecuaciones.

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n_1 = 209 \quad \bar{x}_1 = 55.32 \quad S_1(x) = 55.17$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n_2 = 216 \quad \bar{x}_2 = 60.42 \quad S_2(x) = 58.12$$

Donde:

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  : Media del periodo 1 y 2, respectivamente.

$X_i, X_j$  : Información de análisis en el periodo 1 y 2, respectivamente.

$S_1(x), S_2(x)$  : Desviación estándar del periodo 1 y 2, respectivamente.

$n_1, n_2$  : Numero de datos de cada periodo.

$n$  : Tamaño total de la muestra ( $n = n_1 + n_2$ ).

El procedimiento a seguir es de la siguiente manera:

1. Se establecen las hipótesis y nivel de significación

$H_p: \mu_1 = \mu_2$  (significa que existe igualdad o semejanza entre las medias poblacionales de los periodos 1 y 2).

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$  (no existe semejanza entre las medias poblacionales de los periodos 1 y 2).

$\alpha = 0.05$  (Nivel de significancia del 5%).

2. Cálculo de las desviaciones estándar de las diferencias de los promedios

$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2} \quad S_p = 56.68$$



$$S_d = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{1/2} \quad S_d = 5.50$$

3. Calculando el Tc (T calculado)

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \quad t_c = 0.9277$$

Asumiendo la semejanza:  $\mu_1 - \mu_2 = 0$  (Según planteamos en la hipótesis).

4. Calculando el Tt (T tabulado)

si  $\frac{\alpha}{2} = 0.025$  la tabla es de dos colas

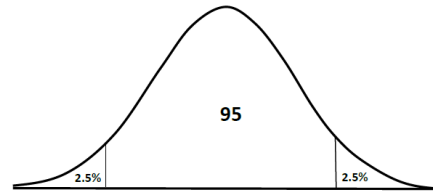
$$G.L. = n_1 + n_2 - 2 = 423$$

Donde:

$G.L.$  = Grados de libertad.

$\alpha$  = Nivel de significación.

Tabla 46. Distribución “t – Student”.



GL	$\alpha/2$							
	0.400	0.300	0.200	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.3249	0.7265	1.3764	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
2	0.2887	0.6172	1.0607	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	0.2767	0.5844	0.9785	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	0.2707	0.5686	0.9410	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.2672	0.5594	0.9195	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.2648	0.5534	0.9057	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.2632	0.5491	0.8960	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	0.2619	0.5459	0.8889	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.2610	0.5435	0.8834	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.2602	0.5415	0.8791	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.2596	0.5399	0.8755	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.2590	0.5386	0.8726	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.2586	0.5375	0.8702	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.2582	0.5366	0.8681	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.2579	0.5357	0.8662	1.3406	1.7531	2.1314	2.6025	2.9467
16	0.2576	0.5350	0.8647	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.2573	0.5344	0.8633	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.2571	0.5338	0.8620	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.2569	0.5333	0.8610	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.2567	0.5329	0.8600	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.2566	0.5325	0.8591	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.2564	0.5321	0.8583	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.2563	0.5317	0.8575	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.2562	0.5314	0.8569	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	0.2561	0.5312	0.8562	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.2560	0.5309	0.8557	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.2559	0.5306	0.8551	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.2558	0.5304	0.8546	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.2557	0.5302	0.8542	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.2556	0.5300	0.8538	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
40	0.2550	0.5286	0.8507	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
50	0.2547	0.5278	0.8489	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
75	0.2542	0.5266	0.8464	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
100	0.2540	0.5261	0.8452	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
200	0.2537	0.5252	0.8434	1.2858	1.6525	1.9719	2.3451	2.6006
423	0.2535	0.5248	0.8425	1.2836	1.6485	1.9656	2.3352	2.5875
500	0.2535	0.5247	0.8423	1.2832	1.6479	1.9647	2.3338	2.5857
1000	0.2534	0.5246	0.8420	1.2824	1.6464	1.9623	2.3301	2.5808

Fuente: Elaboración con la herramienta de Excel, DISTR.T.INV(Probabilidad-  $\alpha/2$ ,GL)

$$t_t = 1.9656$$

5. Criterio de decisión:

Si:  $|T_c| \leq |T_t|$  (95%) entonces  $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ , estadísticamente las medias son iguales.

Si:  $|T_c| > |T_t|$  (95%) entonces  $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ , estadísticamente las medias son diferentes (no hay semejanza) por lo tanto se define la existencia de salto.

**Como  $|T_c = 0.9277| < |T_t = 1.9656|$  entonces, estadísticamente las medias son iguales, por lo tanto no se debe corregir la información.**

### Consistencia en la desviación estándar

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza con la prueba “F” de Fisher según el procedimiento:

- Se calcula la varianza en ambos periodos

$$S_1^2(x) = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad S_1^2(x) = 3043.44$$

$$S_2^2(x) = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \quad S_2^2(x) = 3377.60$$

5. Planteando la hipótesis y el nivel de significancia:

$H_p: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (se considera varianzas poblacionales semejantes).

$H_p: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (se considera varianzas poblacionales semejantes).

$\alpha = 0.05$  (Nivel de significancia del 5%).

6. Calculando  $F_c$  (F calculado)

$$F_c = \left[ \frac{S_1(x)}{S_2(x)} \right]^2, \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \left[ \frac{S_2(x)}{S_1(x)} \right]^2, \quad \text{si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$\text{Como: } S_2^2(x) > S_1^2(x), \text{ entonces } F_c = \left[ \frac{S_2(x)}{S_1(x)} \right]^2 \quad F_c = 1.1098$$



7. Encontrar el valor de Ft (F tabulado) según las tablas:

Para:  $\alpha = 0.05$

$$\begin{bmatrix} GLN = n_1 - 1 \\ GLD = n_2 - 1 \end{bmatrix} \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\begin{bmatrix} GLN = n_2 - 1 \\ GLD = n_1 - 1 \end{bmatrix} \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

Como:  $S_2^2(x) > S_1^2(x)$ ; entonces  $G.L.N. = n_2 - 1 = 215$ ,  $G.L.D. = n_1 - 1 = 208$

Donde:

$\alpha$  : Nivel de significación.

G.L.N : Grados de libertad del numerador.

G.L.D. : Grados de libertad del denominador.



**Tabla 47.** Valores de distribución de Fisher F,  $\alpha=0.05$ .

n1 n2	30	40	50	100	150	200	215	250	300	350	400	450	500
10	2.6996	2.6609	2.6371	2.5884	2.5718	2.5634	2.5616	2.5583	2.5549	2.5525	2.5507	2.5493	2.5481
15	2.2468	2.2043	2.1780	2.1234	2.1046	2.0950	2.0930	2.0893	2.0854	2.0826	2.0806	2.0789	2.0776
20	2.0391	1.9938	1.9656	1.9066	1.8860	1.8755	1.8733	1.8691	1.8648	1.8618	1.8595	1.8577	1.8562
25	1.9192	1.8718	1.8421	1.7794	1.7573	1.7460	1.7436	1.7391	1.7345	1.7312	1.7287	1.7268	1.7252
30	1.8409	1.7918	1.7609	1.6950	1.6717	1.6597	1.6571	1.6524	1.6474	1.6439	1.6412	1.6392	1.6375
35	1.7856	1.7351	1.7032	1.6347	1.6102	1.5976	1.5949	1.5899	1.5847	1.5809	1.5781	1.5759	1.5742
40	1.7444	1.6928	1.6600	1.5892	1.5637	1.5505	1.5477	1.5425	1.5370	1.5331	1.5301	1.5278	1.5260
45	1.7126	1.6599	1.6264	1.5536	1.5272	1.5135	1.5106	1.5051	1.4994	1.4953	1.4922	1.4898	1.4879
50	1.6872	1.6337	1.5995	1.5249	1.4977	1.4835	1.4805	1.4748	1.4689	1.4647	1.4614	1.4589	1.4569
55	1.6664	1.6122	1.5774	1.5013	1.4733	1.4587	1.4555	1.4497	1.4436	1.4392	1.4358	1.4332	1.4311
60	1.6491	1.5943	1.5590	1.4814	1.4527	1.4377	1.4345	1.4285	1.4222	1.4176	1.4142	1.4115	1.4093
65	1.6345	1.5791	1.5434	1.4645	1.4352	1.4198	1.4165	1.4103	1.4038	1.3991	1.3956	1.3928	1.3906
70	1.6220	1.5661	1.5300	1.4498	1.4200	1.4042	1.4009	1.3945	1.3879	1.3831	1.3794	1.3766	1.3743
75	1.6112	1.5548	1.5183	1.4371	1.4067	1.3906	1.3872	1.3807	1.3739	1.3690	1.3652	1.3623	1.3600
80	1.6017	1.5449	1.5081	1.4259	1.3949	1.3786	1.3751	1.3684	1.3615	1.3565	1.3526	1.3496	1.3472
85	1.5934	1.5361	1.4990	1.4159	1.3845	1.3678	1.3643	1.3575	1.3504	1.3453	1.3414	1.3383	1.3359
90	1.5859	1.5284	1.4910	1.4070	1.3751	1.3582	1.3546	1.3477	1.3405	1.3353	1.3313	1.3281	1.3256
95	1.5793	1.5214	1.4837	1.3990	1.3667	1.3495	1.3458	1.3388	1.3315	1.3262	1.3221	1.3189	1.3163
100	1.5733	1.5151	1.4772	1.3917	1.3591	1.3416	1.3379	1.3308	1.3233	1.3179	1.3138	1.3105	1.3079
105	1.5679	1.5094	1.4713	1.3851	1.3521	1.3345	1.3306	1.3234	1.3159	1.3103	1.3061	1.3028	1.3002
150	1.5354	1.4752	1.4357	1.3448	1.3093	1.2899	1.2857	1.2777	1.2693	1.2631	1.2584	1.2547	1.2516
200	1.5164	1.4551	1.4146	1.3206	1.2832	1.2626	1.2581	1.2495	1.2404	1.2336	1.2285	1.2244	1.2211
208	1.5142	1.4528	1.4122	1.3178	1.2801	1.2594	1.2548	1.2461	1.2369	1.2301	1.2249	1.2208	1.2174
250	1.5049	1.4430	1.4019	1.3058	1.2670	1.2456	1.2408	1.2318	1.2221	1.2150	1.2095	1.2051	1.2015
300	1.4973	1.4349	1.3934	1.2958	1.2560	1.2339	1.2290	1.2196	1.2095	1.2021	1.1963	1.1917	1.1879
400	1.4878	1.4247	1.3827	1.2831	1.2420	1.2189	1.2137	1.2038	1.1932	1.1852	1.1790	1.1741	1.1700
500	1.4821	1.4186	1.3762	1.2753	1.2334	1.2096	1.2043	1.1940	1.1829	1.1746	1.1682	1.1629	1.1587

Fuente: Elaborado con la función de Excel, DISTR.F.INV(Probabilidad- $\alpha$ , G.L.N, G.L.D) .

$$F_t = 1.2548$$

8. Probabilidad a decidir:

Si:  $F_c \leq F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) = S_2(x)$  se considera que las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.

Si:  $F_c > F_t$  (95%) entonces  $S_1(x) \neq S_2(x)$ , las desviaciones estándar son diferentes estadísticamente por lo tanto se considera a que existe salto.

Como:  $F_c = 1.1098 < F_t = 1.2548$  (95%) entonces  $S_1(x) =$

$S_2(x)$ , se considera que las desviaciones estándar son iguales estadísticamente.

Por lo tanto, no se debe corregir la información.

En resumen, en este caso de los datos de la estación Colquepata tanto la media y la desviación estándar no deben ser corregidos de acuerdo a los resultados de las pruebas “t” y “F”; por lo que se determina que la precipitación en la estación Colquepata no presenta saltos.

## 2. Análisis de tendencias

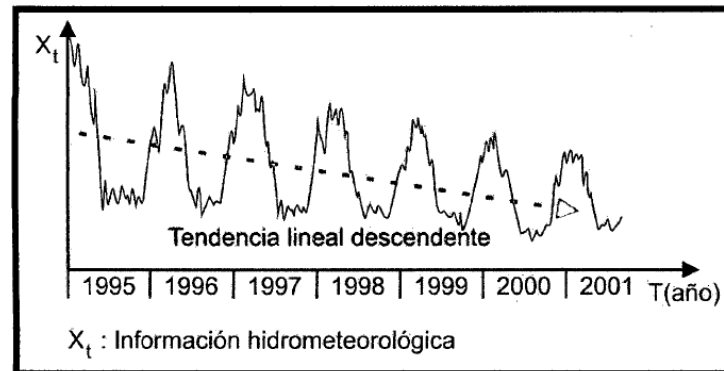


Figura 67. Identificación de tendencia en un hidrograma.

## 3. Procedimiento para el análisis de tendencia

De acuerdo a la recopilación de la investigación de (Mosqueira, 2016) se tiene.

- Establecer la hipótesis planteada y las alternativas posibles, así como el nivel de significancia.

$H_0: \beta_0=0$	(Pendiente de la ecuación de regresión lineal)
$H_1: \beta_1 \neq 0$	
$\alpha=0.05$	Nivel de significación

Donde:

$H_0$  : Hipótesis nula.

$H_1$  : Hipótesis alternativa.

$\alpha$  : Nivel de significación o error máximo.

**Tabla 48.** Organización de los datos de precipitación pluvial mensual de la estación Colquepata.

<b>N (xi)</b>	<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Precipitación (yi)</b>
1	1964	ENE	62.8
2	1964	MAR	96.7
3	1964	ABR	56.5
4	1964	OCT	14.43
5	1964	NOV	34.15
6	1964	DIC	73.9
7	1965	ENE	137.56
8	1965	FEB	45.7
9	1965	MAR	94.7
10	1965	ABR	48.14
11	1965	MAY	0
12	1965	JUN	0
.			
.			
.			
414	2017	ENE	104.9
415	2017	FEB	111.3
416	2017	MAR	157.7
417	2017	ABR	43.9
418	2017	MAY	48.3
419	2017	JUN	3.8
420	2017	JUL	1
421	2017	AGO	16.5
422	2017	SET	12.3
423	2017	OCT	37.4
424	2017	NOV	56.6
425	2017	DIC	72.6

Del cuadro anterior se puede obtener el número de meses con observaciones de precipitación pluvial mensual acumulada desde el año 1964 a 2017.

n=425

#### **Cálculo de la media aritmética del tiempo – estación Colquepata**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

$\bar{x}$ : Media aritmética de los datos de precipitación pluvial.



$x_i$ : Número de mes con valor de precipitación pluvial mensual acumulada.

$n$ : Número de meses que cuentan con valor de precipitación pluvial mensual acumulada.

Entonces:

$$\bar{x} = 213$$

### Cálculo de la media aritmética de los datos de precipitación pluvial – estación Colquepata

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Donde:

$\bar{y}$ : Media aritmética de los datos de precipitación pluvial.

$y_i$ : Número de mes con valor de precipitación pluvial mensual acumulada.

$n$ : Número de meses que cuentan con valor de precipitación pluvial mensual acumulada.

Entonces:

$$\bar{y} = 57.91$$

#### b. Cálculo del estadístico $t_0$ para la prueba de hipótesis en regresión lineal simple

- Cálculo de la sumatoria de  $XX$ ,  $YY$  y  $XY$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad S_{xx} = 6397100$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad S_{yy} = 1361985$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad S_{xy} = 61926.67$$

Donde:

$x_i$  : Precipitación mensual.

$\bar{x}$  : Media aritmética del tiempo (meses).

$\bar{y}$  : Media aritmética de los datos de precipitación.

$n$  : Número de meses.

- Cálculo de la pendiente de la línea de tendencia

$$b_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad b_1 = \frac{61926.67}{6397100} \quad b_1 = 0.0097$$



Donde :

$b_1$  : Pendiente de la recta de tendencia.

- Cálculo del error estándar de estimación

$$S = \sqrt{\frac{S_{yy} - b_1 * S_{xy}}{n - 2}} \quad S = 56.731$$

Donde:

$S$  : Error estándar de estimación.

- Cálculo del estadístico  $t_o$  para la prueba de hipótesis en regresión lineal.

$$t_o = \frac{b}{\frac{S}{\sqrt{S_{xx}}}} \quad t_o = 0.4316$$

Donde:

$t_o$  : Estadístico para prueba de hipótesis en regresión lineal.

### c. Cálculo estadístico de prueba de hipótesis tabulado

Este valor se obtiene de la tabla de distribución “T”, la cual se encuentra en los anexos de este trabajo de investigación.

Para ubicar el valor T tabulado ( $T_t$ ) en la tabla, se requiere:

$$\alpha = 0.05$$

$$G.L = n - 2 = 425 - 2 = 423$$

Donde:

$\alpha$  : Nivel de significación.

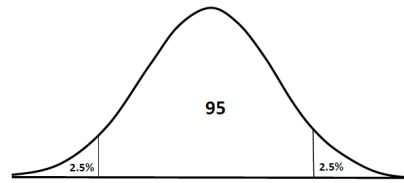
$G.L$  : Grado de libertad.

$n$  : Número de meses que cuentan con datos de precipitación pluvial mensual acumulada.

El valor de “ $t_t$ ” con el 95% de probabilidad, el cual se calcula mediante la tabla de Student con:

$$\alpha = 0.05 \quad G.L = 423$$

Tabla 49. Distribución “t – Student”.



GL	$\alpha/2$							
	0.400	0.300	0.200	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.3249	0.7265	1.3764	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
2	0.2887	0.6172	1.0607	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	0.2767	0.5844	0.9785	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	0.2707	0.5686	0.9410	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.2672	0.5594	0.9195	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.2648	0.5534	0.9057	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.2632	0.5491	0.8960	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	0.2619	0.5459	0.8889	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.2610	0.5435	0.8834	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.2602	0.5415	0.8791	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.2596	0.5399	0.8755	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.2590	0.5386	0.8726	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.2586	0.5375	0.8702	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.2582	0.5366	0.8681	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.2579	0.5357	0.8662	1.3406	1.7531	2.1314	2.6025	2.9467
16	0.2576	0.5350	0.8647	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.2573	0.5344	0.8633	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.2571	0.5338	0.8620	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.2569	0.5333	0.8610	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.2567	0.5329	0.8600	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.2566	0.5325	0.8591	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.2564	0.5321	0.8583	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.2563	0.5317	0.8575	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.2562	0.5314	0.8569	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	0.2561	0.5312	0.8562	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.2560	0.5309	0.8557	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.2559	0.5306	0.8551	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.2558	0.5304	0.8546	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.2557	0.5302	0.8542	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.2556	0.5300	0.8538	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
40	0.2550	0.5286	0.8507	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
50	0.2547	0.5278	0.8489	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
75	0.2542	0.5266	0.8464	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
100	0.2540	0.5261	0.8452	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
200	0.2537	0.5252	0.8434	1.2858	1.6525	1.9719	2.3451	2.6006
423	0.2535	0.5248	0.8425	1.2836	1.6485	1.9656	2.3352	2.5875
500	0.2535	0.5247	0.8423	1.2832	1.6479	1.9647	2.3338	2.5857
1000	0.2534	0.5246	0.8420	1.2824	1.6464	1.9623	2.3301	2.5808

Fuente: Elaboración con la herramienta de Excel, DISTR.T.INV(Probabilidad-  $\alpha/2$ ,GL).

Entonces  $t_t = 1.9656$

**Conclusión**

Si  $t_o = 0.4316 < t_t = 1.9656$  entonces  $\beta_0 = 0$  (Estadísticamente), se acepta la hipótesis nula  $H_o$ .

Entonces los datos no deben ser corregidos ya que significa que la pendiente de la línea de tendencia no es significativa.



**Tabla 50.** Análisis de consistencia de la precipitación mensual – primera parte.

N°	Estaciones	Periodos		N	Media	Desv. Est.	Pruebas Estadísticas 95%				Cambios		Requiere primera corrección de datos?	Observación Se quita datos de:
		De	A				[Tc]	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est		
1	CUNYAC	1981	2006	45	47.266	46.895	1.078	1.974	1.118	1.472	No	No	No	DIC 2004 Y ENE-MAR 2006
		2007	2017	129	38.865	44.354								
2	COLQUEPATA	1964	1999	209	55.318	55.167	0.928	1.966	1.110	1.255	No	No	No	JUN 82 A DIC 99
		2000	2017	216	60.420	58.117								
3	CHITAPAMPA	1965	1985	245	57.082	58.092	0.294	1.966	1.000	1.260	No	No	No	
		1986	2017	168	55.374	58.101								
4	SAN GABAN	1965	1992	295	469.763	289.266	5.219	1.964	1.593	1.215	Si	Si	Si	
		1993	2017	277	613.045	365.074								
5	NUÑO A	1965	1979	177	60.048	60.104	0.257	1.967	1.155	1.295	No	No	No	
		1980	2017	149	58.270	64.607								
6	QUILLABAMBA	1981	1999	110	145.779	136.084	4.166	1.967	3.247	1.308	Si	Si	Si	
		2000	2017	211	96.585	75.518								
7	KAYRA	1964	1972	106	50.887	50.783	0.990	1.964	1.248	1.299	No	No	No	
		1973	2017	537	56.759	56.740								
8	QUEBRADA	1981	2003	56	116.595	89.353	0.648	1.971	1.114	1.468	No	No	No	
		2004	2017	166	125.911	94.297								
9	CHALLABAMBA	1981	2004	59	81.890	74.706	0.550	1.971	1.015	1.459	No	No	No	
		2005	2017	155	75.571	75.282								
10	CHONTACHACA	1981	2004	38	468.736	175.344	0.592	1.973	1.019	1.491	No	No	No	
		2005	2017	150	450.020	173.727								
11	CURAHUASI	1964	1988	287	46.156	50.463	3.444	1.964	1.505	1.213	Si	Si	Si	NOV 1988 A DIC 1992
		1989	2017	300	62.249	61.902								
12	MACHUPICCHU	1981	2007	112	175.815	119.736	0.004	1.970	1.219	1.362	No	No	No	
		2008	2017	120	175.741	132.206								
13	URUBAMBA	1965	1984	177	36.581	40.128	1.628	1.964	1.153	1.242	No	No	No	ENE 80 A DIC 84
		1985	2017	391	42.805	43.093								
14	ANTA	1981	1994	130	67.379	83.996	1.176	1.966	1.000	1.292	No	No	No	DIC 93, ENE 94, ENE 2001
		1995	2017	273	77.909	83.999								
15	CALCA	1965	1986	185	39.800	42.161	1.766	1.968	1.316	1.301	No	Si	Si	
		1987	2017	132	48.826	48.372								
16	PARURO	1964	1992	226	60.158	68.889	1.478	1.965	1.080	1.231	No	No	No	FEB 67, MAR 67, ENE 68 A MAR 68, ENE 69 A MAR 69, ENE 87
		1993	2017	295	69.360	71.593								



**Tabla 51.** Análisis de consistencia de la precipitación mensual – segunda parte.

N°	Estaciones	Periodos		N	Media	Desv. Est.	Pruebas Estadísticas 95%				Cambios		Requiere primera corrección de datos?	Observación Se quita datos de:
		De	A				Tc	Tt	Fc	Ft	Media	Desv. Est		
17	ACOMAYO	1964	1986	228	74.654	75.666	0.967	1.964	1.242	1.216	No	Si	Si	Nov-87
		1987	2017	359	68.837	67.908								
18	PAUCARTAMBO	1981	2003	130	53.045	51.146	0.014	1.968	1.004	1.319	No	No	No	ENE 81, AGO-SET 81, ENE-AGO 82, MAR90- DIC92, ENE 95, DIC 2011, DIC 2012
		2004	2017	166	53.132	51.236								
19	CCATCCA	1965	1985	219	49.804	48.990	0.875	1.964	1.222	1.223	No	No	No	
		1986	2017	380	53.689	54.149								
20	OLLACHEA	1965	1991	242	100.418	95.278	0.700	1.964	1.301	1.224	No	Si	Si	ENE 74, ENE 76, OCT 80, ENE 81, OCT 81, NOV 81, ENE-FEB 84
		1992	2017	292	95.002	83.534								
21	COMBAPATA	1965	1973	108	57.811	53.408	0.588	1.967	1.411	1.323	No	Si	Si	
		1974	2017	240	61.933	63.440								
22	SICUANI	1965	1986	166	58.308	60.494	0.437	1.964	1.114	1.238	No	No	No	DIC 78, ENE 80 - MAY 84
		1987	2017	363	60.694	57.313								
23	MACUSANI	1965	1991	169	53.260	53.990	0.176	1.965	1.052	1.247	No	No	No	SET 89 A SET 91
		1992	2017	300	54.157	52.633								
24	CAYCAY	1965	2008	108	54.210	57.894	0.766	1.971	1.254	1.376	No	No	No	ENE 85 - DIC 99
		2009	2017	108	48.490	51.693								
25	POMACANCHI	1981	2000	95	65.764	62.549	0.700	1.968	1.240	1.351	No	No	No	ENE 85 - DIC 86, MAR- SET 87, AGO-DIC 88, FEB-ABR 89, DIC 91- MAR 92, AGO-DIC 92
		2001	2017	203	71.640	69.662								
26	SANTA ROSA	1964	1989	188	83.910	82.786	5.016	1.965	1.377	1.236	Si	Si	Si	
		1990	2017	318	69.942	70.557								
27	PISAQ	1964	1987	275	50.858	63.590	0.841	1.964	1.586	1.205	No	Si	Si	Mar-70
		1988	2017	354	47.032	50.490								
28	PERAYOC	1963	1990	324	65.865	64.555	0.156	1.964	1.120	1.203	No	No	No	
		1991	2017	311	66.689	68.307								
29	YAURI	1981	2001	136	67.424	77.463	0.138	1.967	1.207	1.297	No	No	No	
		2002	2017	189	66.281	70.495								
30	HUQUIBAMBILL	1964	1977	71	58.466	59.532	0.500	1.964	1.098	1.375	No	No	No	
		1978	2017	475	62.411	62.373								
31	CRUCERO	1964	1987	284	73.462	72.538	3.049	1.964	1.451	1.204	Si	Si	Si	
		1988	2017	349	57.372	60.216								



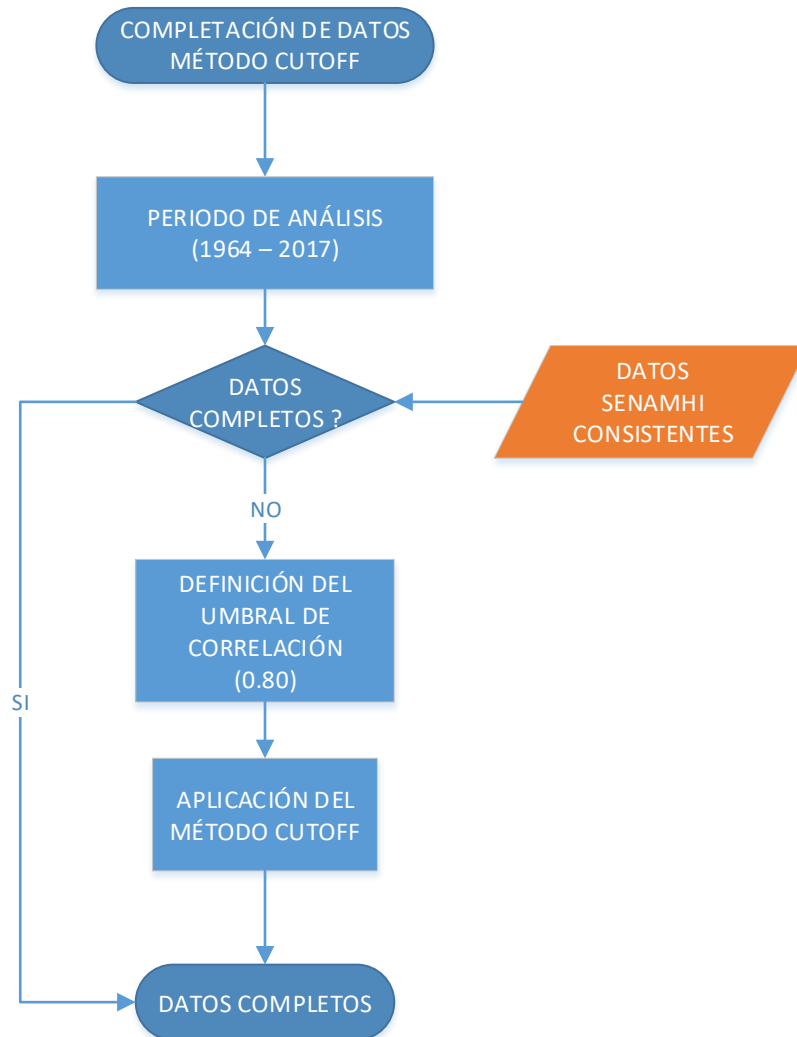


Tabla 52. Resumen de análisis de tendencia en la media de la precipitación mensual.

N°	Estaciones	Tendencia	N	Media	Desv. Est.	Coef. Ecuación Reg.		Pruebas Estadísticas 95%		Análisis	Requiere segunda corrección de datos?
						Am	Bm	Tc	Tt		
1	CUNYAC	Media	174	41.04	45.04	44.985	-0.045	0.663	1.974	No	No
2	COLQUEPATA	Media	425	57.91	56.68	55.849	0.010	0.432	1.966	No	No
3	CHITAPAMPA	Media	413	56.39	58.03	58.630	-0.011	0.452	1.966	No	No
4	SAN GABAN	Media	572	613.04	335.62	615.133	-0.007	0.079	1.964	No	No
5	NUÑO A	Media	326	59.24	62.11	62.393	-0.019	0.528	1.967	No	No
6	QUILLABAMBA	Media	321	96.58	102.96	101.940	-0.033	0.732	1.967	No	No
7	KAYRA	Media	643	55.79	55.81	53.972	0.006	0.476	1.964	No	No
8	QUEBRADA	Media	222	123.56	92.96	121.487	0.019	0.191	1.971	No	No
9	CHALLABAMBA	Media	214	77.31	75.00	85.472	-0.076	0.914	1.971	No	No
10	CHONTACHACA	Media	188	453.80	173.75	453.134	0.007	0.030	1.973	No	No
11	CURAHUASI	Media	587	61.76	57.12	62.622	-0.003	0.193	1.964	No	No
12	MACHUPICCHU	Media	232	175.78	126.07	185.089	-0.080	0.646	1.970	No	No
13	URUBAMBA	Media	568	40.87	42.25	35.853	0.018	1.632	1.964	No	No
14	ANTA ANCACHURO	Media	403	74.51	84.04	74.452	0.000	0.008	1.966	No	No
15	CALCA	Media	317	48.50	45.00	53.225	-0.030	0.997	1.968	No	No
16	PARURO	Media	521	65.37	70.51	57.662	0.030	1.439	1.965	No	No
17	ACOMAYO	Media	587	68.84	71.02	70.789	-0.007	0.401	1.964	No	No
18	PAUCARTAMBO	Media	296	53.09	51.11	52.121	0.007	0.188	1.968	No	No
19	CCATCCA	Media	599	53.76	52.31	51.309	0.008	0.640	1.964	No	No
20	OLLACHEA	Media	534	94.78	89.00	91.527	0.012	0.517	1.964	No	No
21	COMBAPATA	Media	348	62.27	60.46	65.370	-0.018	0.528	1.967	No	No
22	SICUANI	Media	529	59.95	58.28	58.337	0.006	0.365	1.964	No	No
23	MACUSANI	Media	469	53.83	53.07	50.989	0.012	0.668	1.965	No	No
24	CAYCAY	Media	216	51.35	54.83	58.524	-0.066	1.106	1.971	No	No
25	POMACANCHI	Media	298	69.77	68.43	72.679	-0.019	0.428	1.968	No	No
26	SANTA ROSA	Media	506	70.03	75.55	71.048	-0.004	0.187	1.965	No	No
27	PISAQ	Media	629	46.56	56.58	44.407	0.007	0.611	1.964	No	No
28	PERAYOC	Media	635	66.27	66.37	63.988	0.007	0.499	1.964	No	No
29	YAURI	Media	325	66.76	73.38	68.220	-0.009	0.206	1.967	No	No
30	CHUQUIBAMBILLA	Media	546	61.90	61.97	58.572	0.012	0.722	1.964	No	No
31	CRUCERO	Media	633	57.56	66.46	61.772	-0.013	1.017	1.964	No	No

### 3.6.3.2. Completación de datos faltantes en precipitaciones mensuales

La completación de datos faltantes se realizó utilizando el método CUTOFF. Para la aplicación de este método, se siguió el siguiente procedimiento general.



**Figura 68.** Procedimiento general de completación de datos faltantes.

El periodo de análisis se considera desde el año 1964 hasta 2017, de acuerdo a la disposición de datos de las estaciones meteorológicas, según se indica en la siguiente Tabla.



Tabla 53. Disposición de la precipitación mensual por cada estación por año dentro del periodo 1964-2017.

Table with 31 rows (estations) and 54 columns (years 1964-2017). Each cell contains a numerical value representing monthly precipitation data for that station and year.

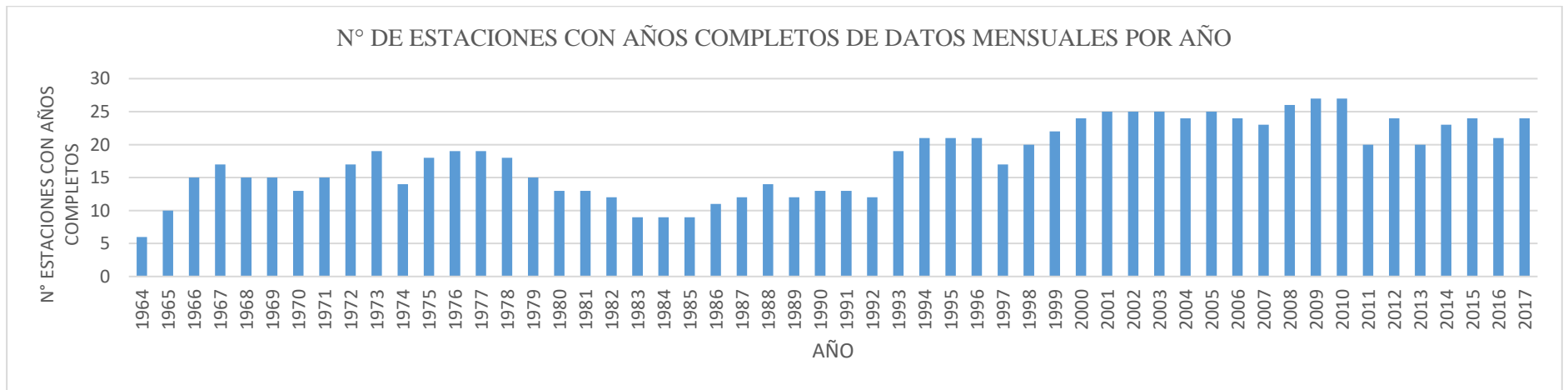
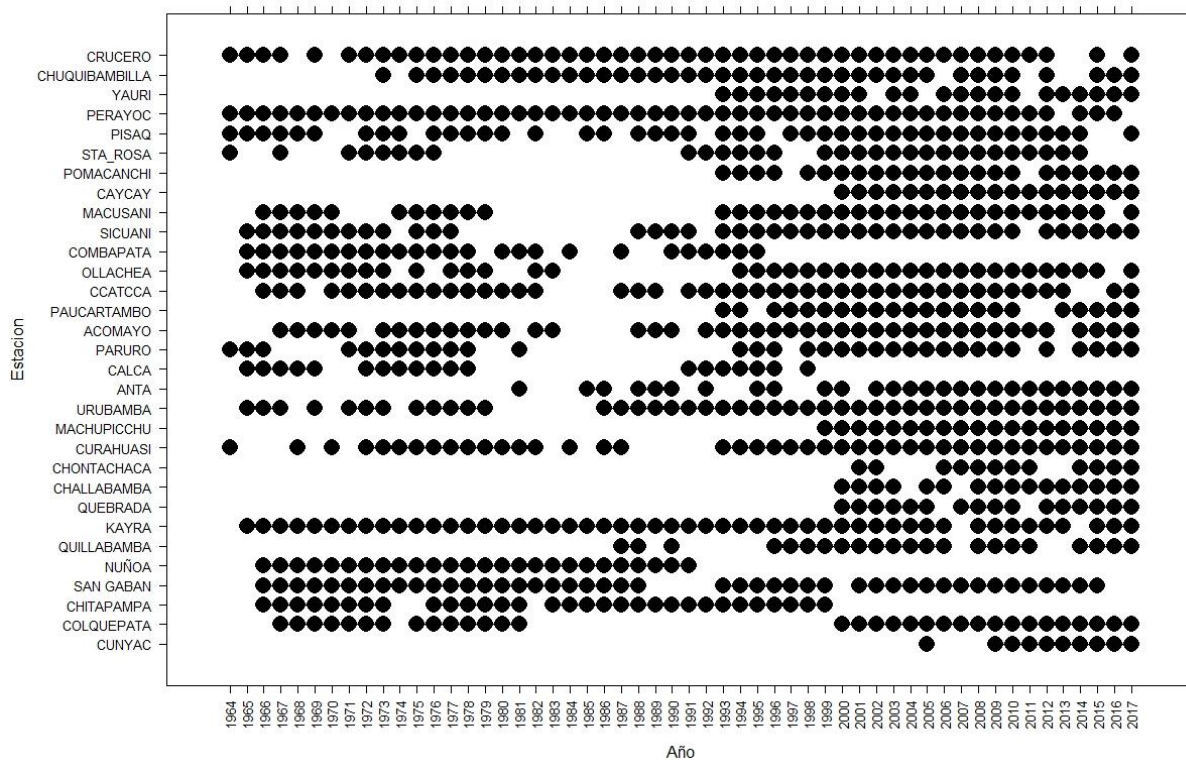


Figura 69. Número de estaciones con años completos de datos mensuales por año dentro del periodo (1964-2017).

En el cuadro anterior se puede ver que no se tiene un solo año con datos completos.

Según la **Figura 70** se puede observar que hasta el año 1992 se tiene menos del 50% en promedio de años completos.

En la zona de estudio las estaciones consideradas en un número de 31, con información mensual disponible desde el año 1964 hasta el 2017, las que se encuentra distribuidas dentro y fuera de la cuenca del río Vilcanota.



**Figura 70.** Disponibilidad temporal de la información en las 31 estaciones, período 1964 – 2017.

Por lo que se decide formar grupos de estaciones que puedan tener al menos un año completo de datos, formándose así un total de 7 grupos como se indica en el siguiente cuadro.

el detalle del procedimiento de la completación es como sigue:

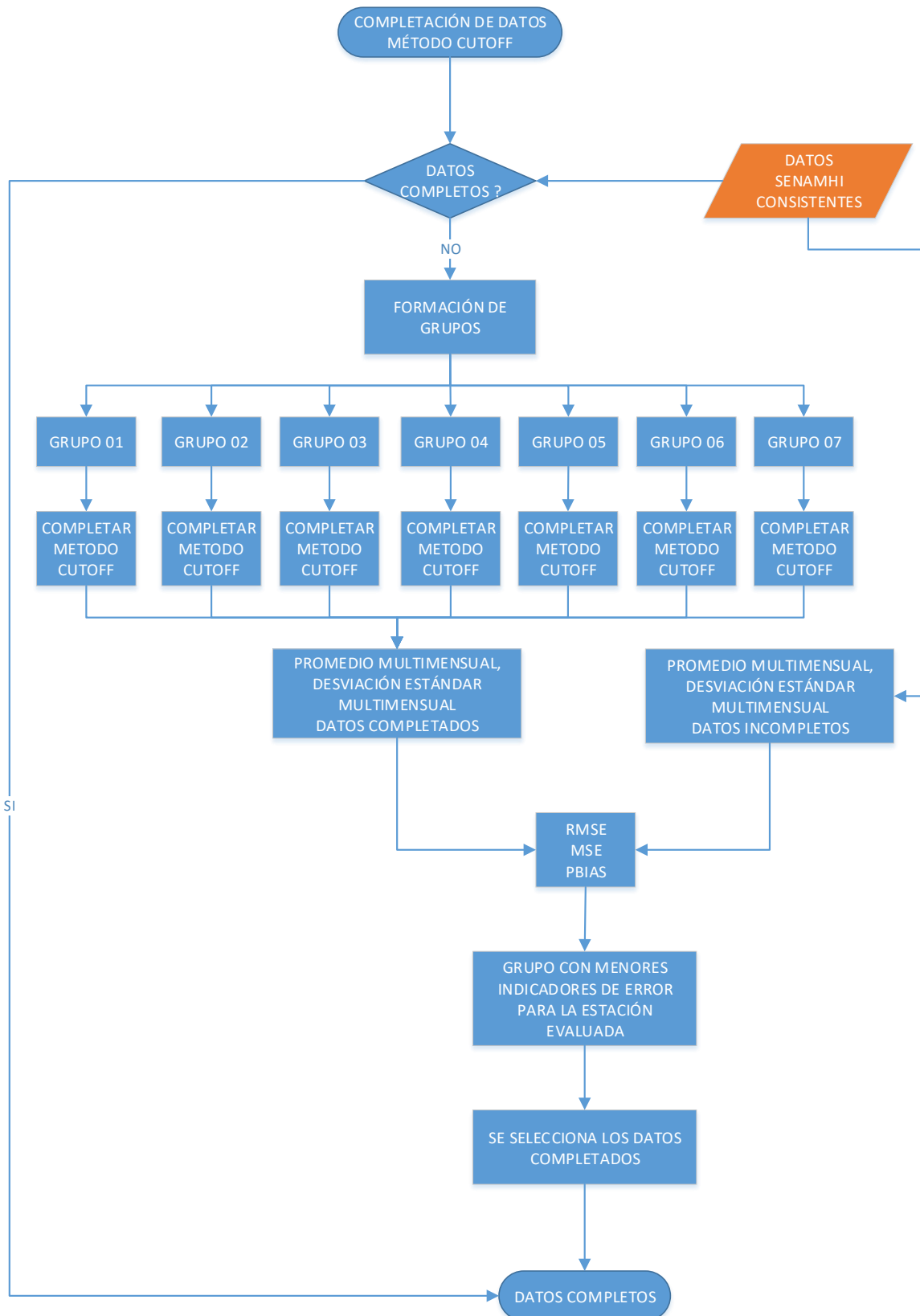


Figura 71. Diagrama de bloques del procedimiento de completación de datos mensuales.

**Tabla 54.** Formación de grupos para la completación de datos.

N°	Código	Nombre	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03	Grupo 04	Grupo 05	Grupo 06	Grupo 07
1	<u>156224</u>	CUNYAC	X				X	X	X
2	<u>156306</u>	COLQUEPATA	X				X	X	X
3	<u>156307</u>	CHITAPAMPA		X	X				
4	<u>156401</u>	SAN GABAN					X		X
5	<u>157404</u>	NUÑO A				X			
6	<u>606</u>	QUILLABAMBA	X	X			X	X	X
7	<u>607</u>	KAYRA	X	X	X	X	X	X	X
8	<u>654</u>	QUEBRADA YANATILE					X		X
9	<u>6670</u>	CHALLABAMBA					X		X
10	<u>6671</u>	CHONTACHACA					X		X
11	<u>677</u>	CURAHUASI	X	X			X	X	X
12	<u>679</u>	MACHUPICCHU					X	X	X
13	<u>683</u>	URUBAMBA	X	X	X		X	X	X
14	<u>684</u>	ANTA ANCACHURO	X	X			X	X	X
15	<u>685</u>	CALCA		X	X				
16	<u>686</u>	PARURO	X	X		X	X	X	X
17	<u>687</u>	ACOMAYO	X	X	X	X	X	X	X
18	<u>689</u>	PAUCARTAMBO		X	X		X	X	X
19	<u>690</u>	CCATCCA	X	X	X	X	X	X	X
20	<u>695</u>	OLLACHEA	X	X			X	X	X
21	<u>756</u>	COMBAPATA		X	X				
22	<u>759</u>	SICUANI	X	X	X	X	X	X	X
23	<u>777</u>	MACUSANI	X	X	X	X	X	X	X
24	<u>809</u>	CAYCAY	X				X	X	X
25	<u>812</u>	POMACANCHI	X	X	X		X	X	X
26	<u>823</u>	SANTA ROSA	X	X	X	X		X	X
27	<u>844</u>	PISAQ	X	X	X		X	X	X
28	<u>704</u>	PERAYOC	X	X	X	X	X	X	X
29	<u>757</u>	YAURI		X	X			X	X
30	<u>764</u>	CHUQUIBAMBILLA	X	X	X	X	X	X	X
31	<u>7415</u>	CRUCERO	X	X		X	X	X	X
<b>TOTAL</b>			<b>20</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>27</b>

A continuación, se presentan la distribución espacial de las estaciones consideradas en cada grupo para la completación.

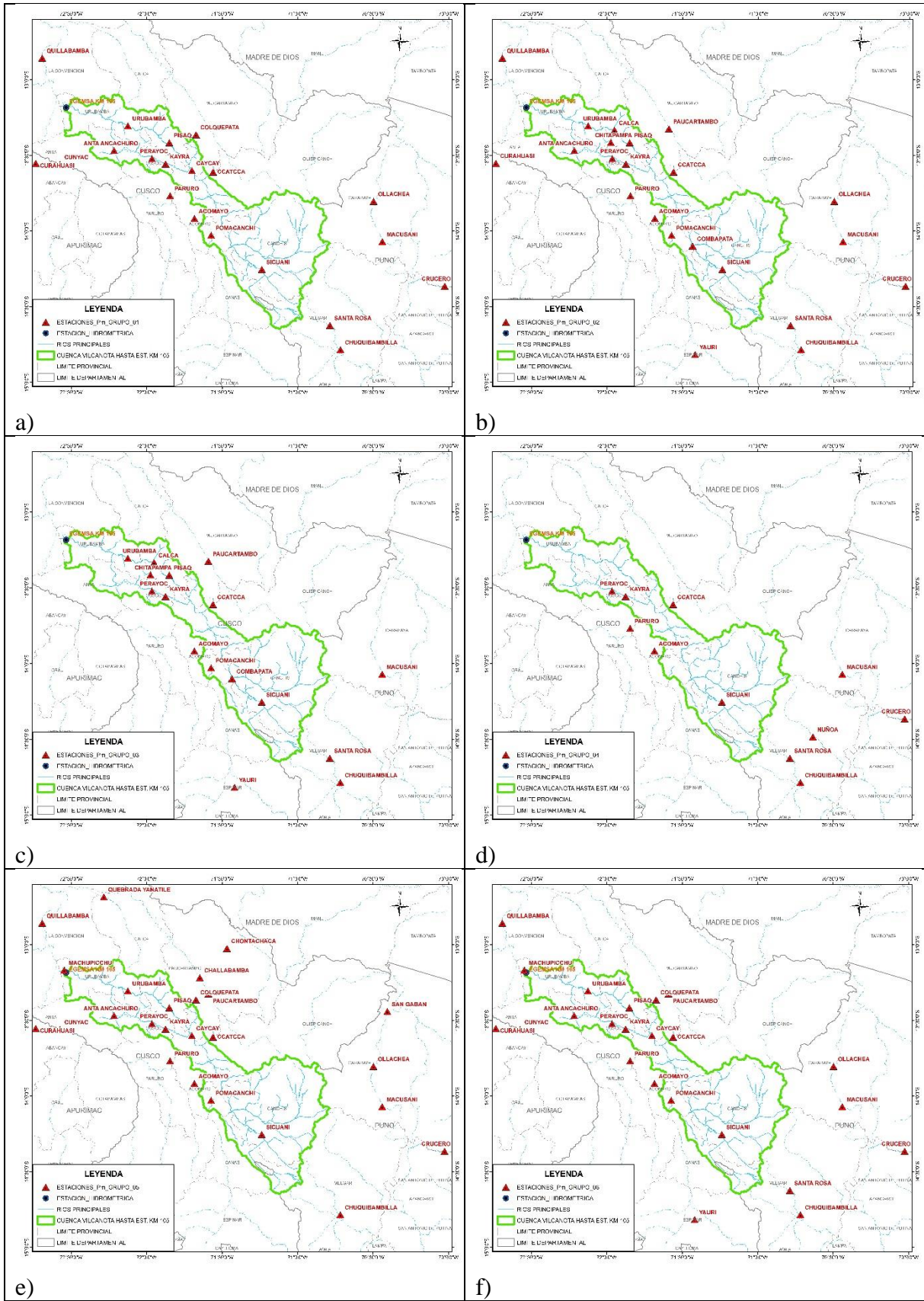
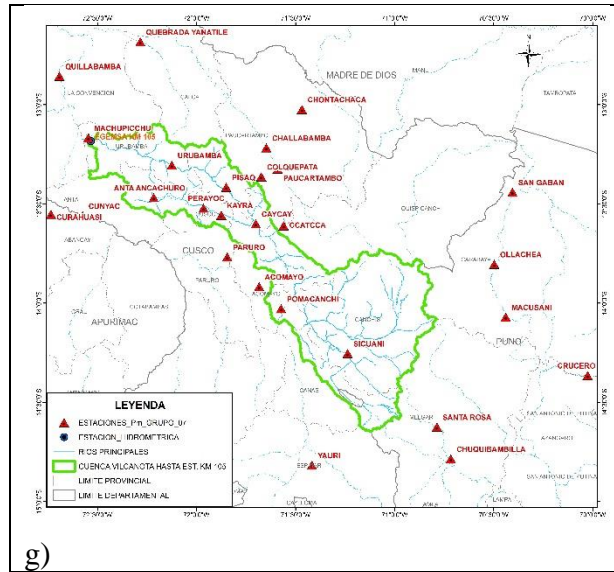


Figura 72. Visualización espacial de los grupos formados para completación de datos.

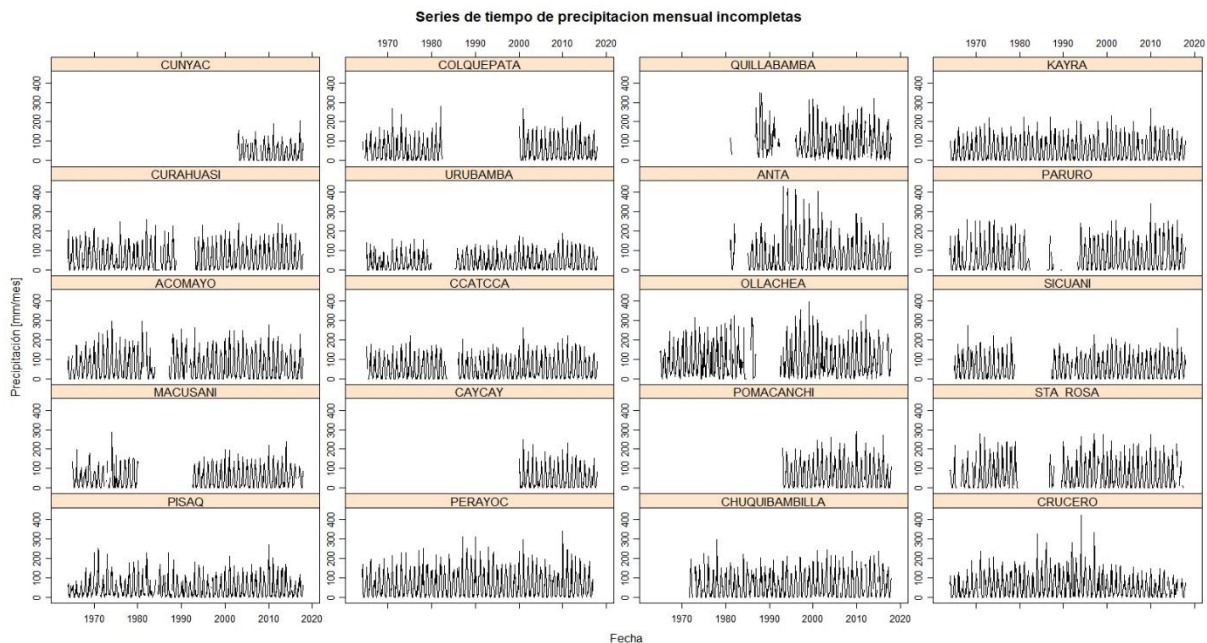
a) Grupo 01, b) Grupo 02, c) Grupo 03, d) Grupo 04, e) Grupo 05 y f) Grupo 06 .



**Figura 73.** Visualización espacial de los grupos formados para completación de datos g) Grupo 07.

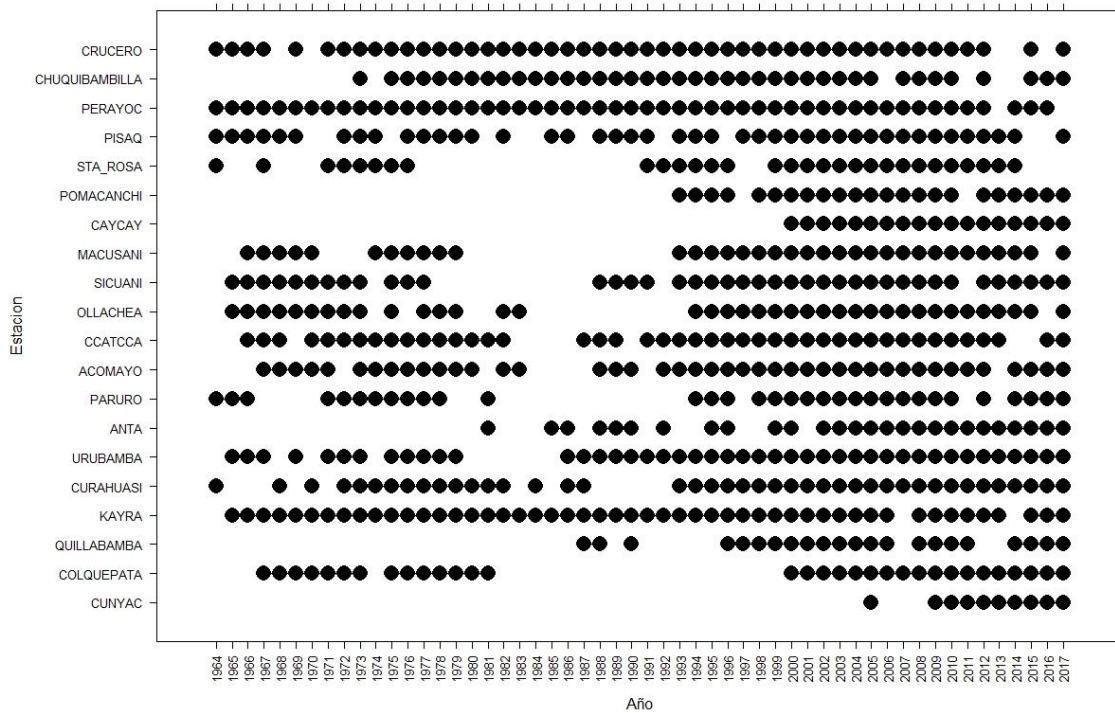
Procedimiento del grupo 01.

En la **Figura 74**, se puede observar la serie de tiempo de precipitación mensual de las estaciones del Grupo 01, donde se puede observar espacios vacíos, las cuales serán completados.



**Figura 74.** Serie de tiempo de precipitación mensual incompletas por cada estación-Grupo 1.

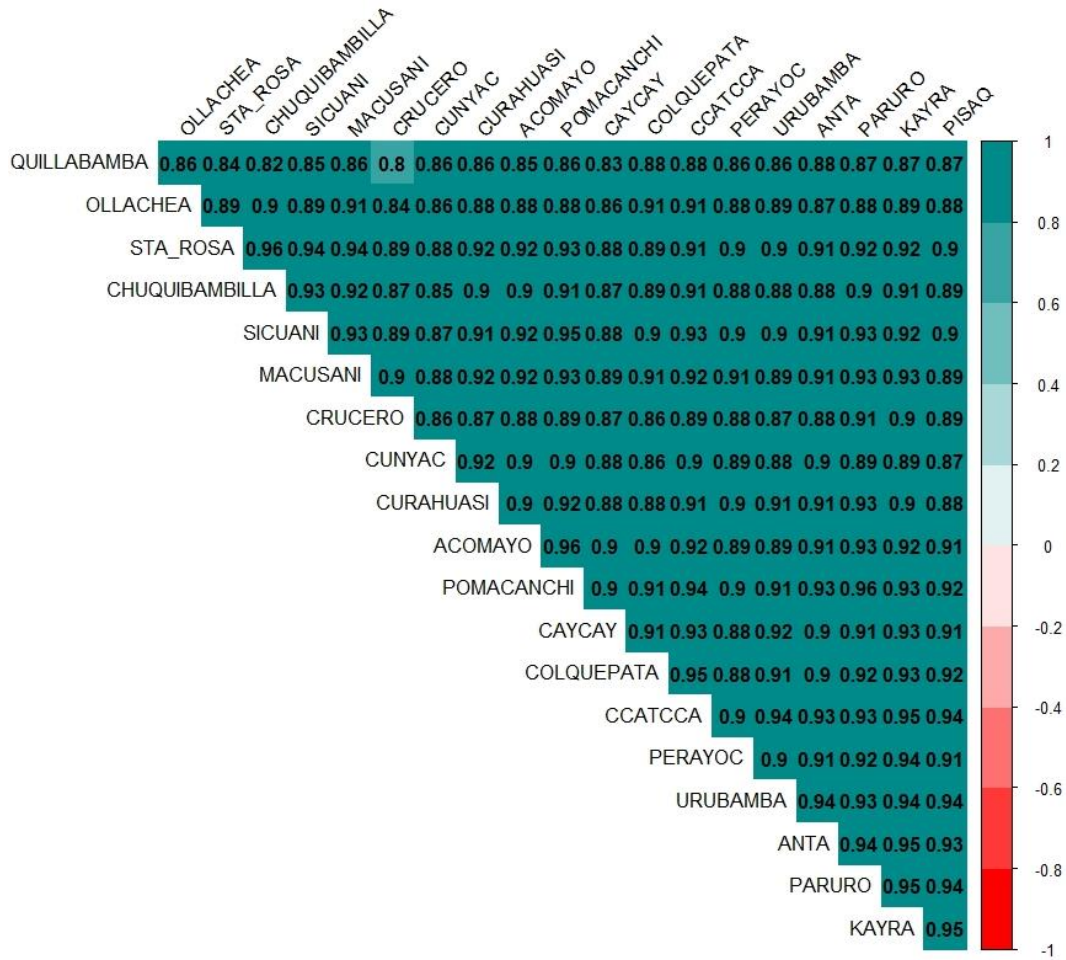




**Figura 75.** Disponibilidad temporal de la información en las estaciones (grupo 1). Período 1964 – 2017.

Según se indica en la investigación de (Galvez, 2017), para aplicar el método CUTOFF, fue importante definir el umbral de correlación el cual define el grupo de estaciones que transfiere información espacio-temporal para completar los datos faltantes de una determinada estación; por tanto los valores de correlación entre sí en todos los grupos y específicamente en el grupo 01 son mayores a 0.6, así como se muestra en la *Figura 76*, por lo que se demuestra una correspondencia positiva entre las estaciones.

Entonces, así como considera Galvez (2017), para la presente investigación se define un valor de correlación de 0.80 como umbral para la completación de datos faltantes.



**Figura 76.** Correlación entre cada estación del grupo 01.

Finalmente, el resultado del proceso de completación de datos faltantes en el grupo 01 se muestra en la **Figura 77**, se observa las series de tiempo de color negro son los datos observados y el color azul corresponde a los datos completados; además se puede observar la coherencia con la variabilidad de los datos observados en cada estación.

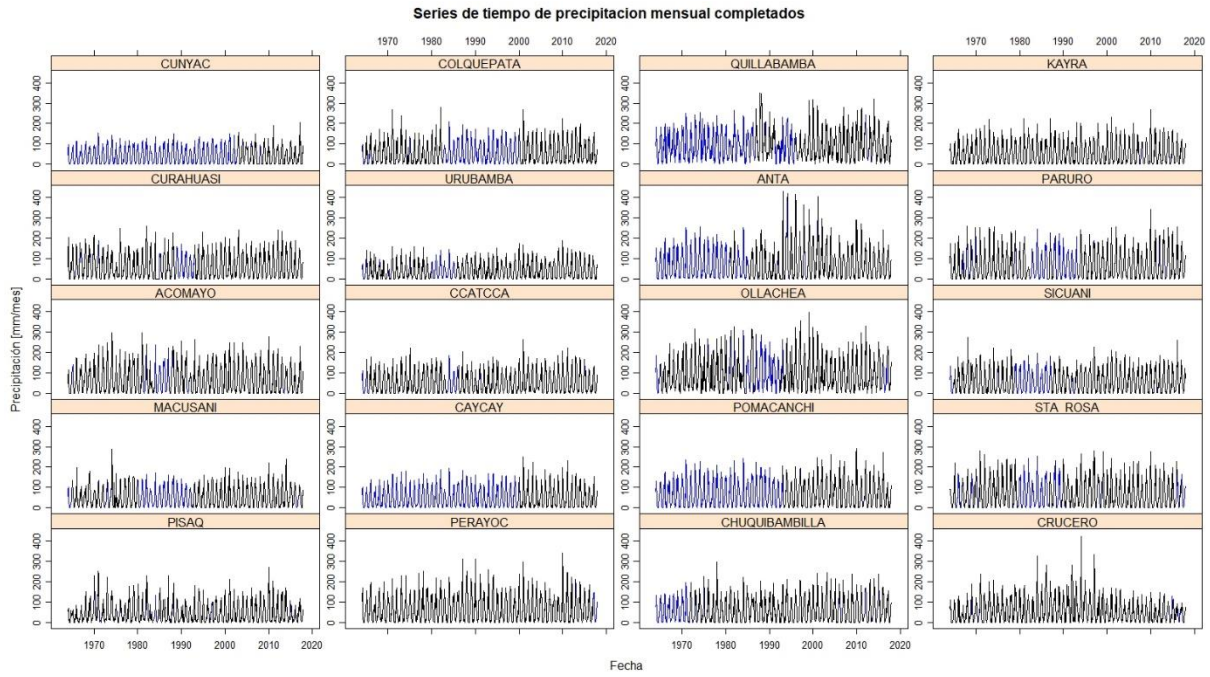


Figura 77. Serie de tiempo de precipitación mensual completadas por cada estación.

Para el caso de la estación Colquepata se tiene:

Forma parte de los grupos 01, 05, 06 y 07.

**Tabla 55.** Formación de grupos para la completación de datos – Estacion Colquepata.

N°	Código	Nombre	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03	Grupo 04	Grupo 05	Grupo 06	Grupo 07
1	<u>156224</u>	CUNYAC	X				X	X	X
2	<u>156306</u>	COLQUEPATA	X				X	X	X
3	<u>156307</u>	CHITAPAMPA		X	X				
4	<u>156401</u>	SAN GABAN					X		X
5	<u>157404</u>	NUÑO A				X			
6	<u>606</u>	QUILLABAMBA	X	X			X	X	X
7	<u>607</u>	KAYRA	X	X	X	X	X	X	X
8	<u>654</u>	QUEBRADA YANATILE					X		X
9	<u>6670</u>	CHALLABAMBA					X		X
10	<u>6671</u>	CHONTACHACA					X		X
11	<u>677</u>	CURAHUASI	X	X			X	X	X
12	<u>679</u>	MACHUPICCHU					X	X	X
13	<u>683</u>	URUBAMBA	X	X	X		X	X	X
14	<u>684</u>	ANTA ANCACHURO	X	X			X	X	X
15	<u>685</u>	CALCA		X	X				
16	<u>686</u>	PARURO	X	X		X	X	X	X
17	<u>687</u>	ACOMAYO	X	X	X	X	X	X	X
18	<u>689</u>	PAUCARTAMBO		X	X		X	X	X
19	<u>690</u>	CCATCCA	X	X	X	X	X	X	X
20	<u>695</u>	OLLACHEA	X	X			X	X	X
21	<u>756</u>	COMBAPATA		X	X				
22	<u>759</u>	SICUANI	X	X	X	X	X	X	X
23	<u>777</u>	MACUSANI	X	X	X	X	X	X	X
24	<u>809</u>	CAYCAY	X				X	X	X
25	<u>812</u>	POMACANCHI	X	X	X		X	X	X
26	<u>823</u>	SANTA ROSA	X	X	X	X		X	X
27	<u>844</u>	PISAQ	X	X	X		X	X	X
28	<u>704</u>	PERAYOC	X	X	X	X	X	X	X
29	<u>757</u>	YAURI		X	X			X	X
30	<u>764</u>	CHUQUIBAMBILLA	X	X	X	X	X	X	X
31	<u>7415</u>	CRUCERO	X	X		X	X	X	X
<b>TOTAL</b>			<b>20</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>27</b>

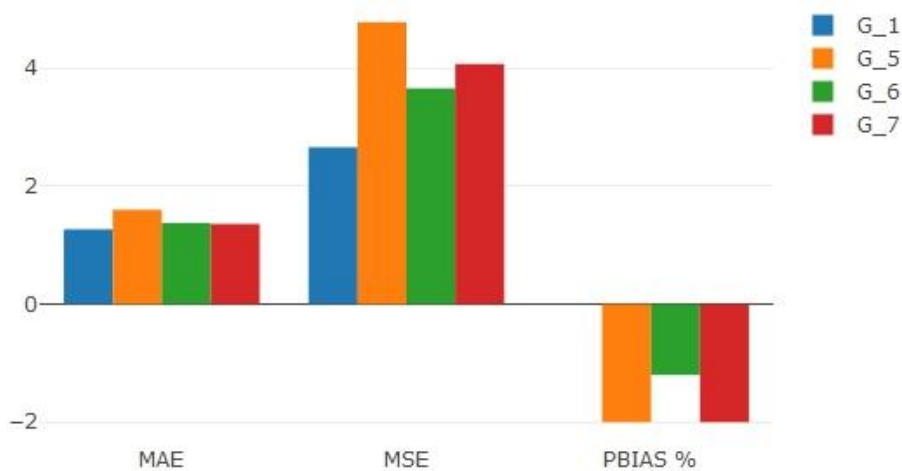
Para efectos de considerar el mejor grupo en la completación de los datos se realizó una comparación entre el promedio multimensual de los datos observados con el promedio multimensual de total de los datos incluyendo los datos completados, determinando los errores de variación.

Según la **Tabla 56**, se puede observar que el grupo 01 muestra valores menores del Error medio absoluto (MAE), Error medio cuadrático y el sesgo porcentual.

**Tabla 56.** Indicadores de comparación del promedio multimensual-Estación Colquepata.

INDICADOR	G_1	G_5	G_6	G_7	MIN	MAX	G_1	G_5	G_6	G_7
MAE	1.270	1.601	1.377	1.360	1.270	1.601	OK	FALSE	FALSE	FALSE
MSE	2.661	4.780	3.659	4.071	2.661	4.780	OK	FALSE	FALSE	FALSE
PBIAS %	0.000	2.000	1.200	2.000	0.000	0.000	OK	FALSE	FALSE	FALSE

De la misma manera de manera visual se puede observar en la **Figura 78**, Los errores en el promedio multimensual el cual muestra al grupo 01 (G\_1) el de menor error y el grupo 06 (G\_6) como segundo en menor error.



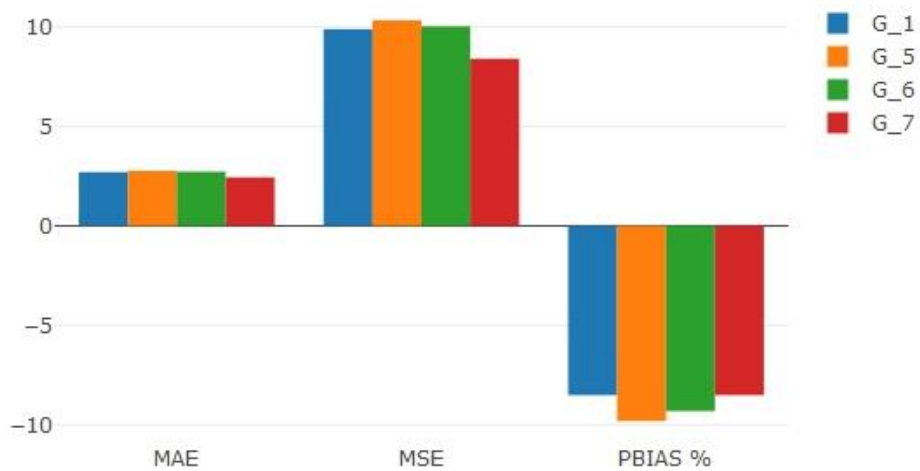
**Figura 78.** Indicadores de error de los promedios multimensuales – Estación Colquepata.

De la misma forma que en caso de los promedios multimensuales, también para efectos de considerar el mejor grupo en la completación de los datos se realizó una comparación entre la desviación estándar multimensual de los datos observados con la desviación estándar multimensual de total de los datos incluyendo los datos completados, determinando los errores de variación.

**Tabla 57.** Indicadores de comparación de la desviación estándar multimensual-Estación Colquepata.

INDICADOR	G_1	G_5	G_6	G_7	MIN	MAX	G_1	G_5	G_6	G_7
MAE	2.694	2.764	2.716	2.430	2.430	2.764	FALSE	FALSE	FALSE	OK
MSE	9.874	10.321	10.014	8.387	8.387	10.321	FALSE	FALSE	FALSE	OK
PBIAS %	8.500	-9.800	-9.300	8.500	8.500	8.500	OK	FALSE	FALSE	OK

En la **Figura 79**, el grupo 07 (G\_7), es que la muestra menores valores de error, siendo el grupo 01 (G\_01) el segundo en tener menores valores de error.



**Figura 79.** Indicadores de error de las desviaciones estándar multimensuales.

**Por lo tanto, se tiene que el grupo 01 es que se considera como el mejor grupo de completación de datos de la estación Colquepata.**

Entonces se tiene así los datos completados. Las partes resaltadas de la **Tabla 58**, son los datos completados.

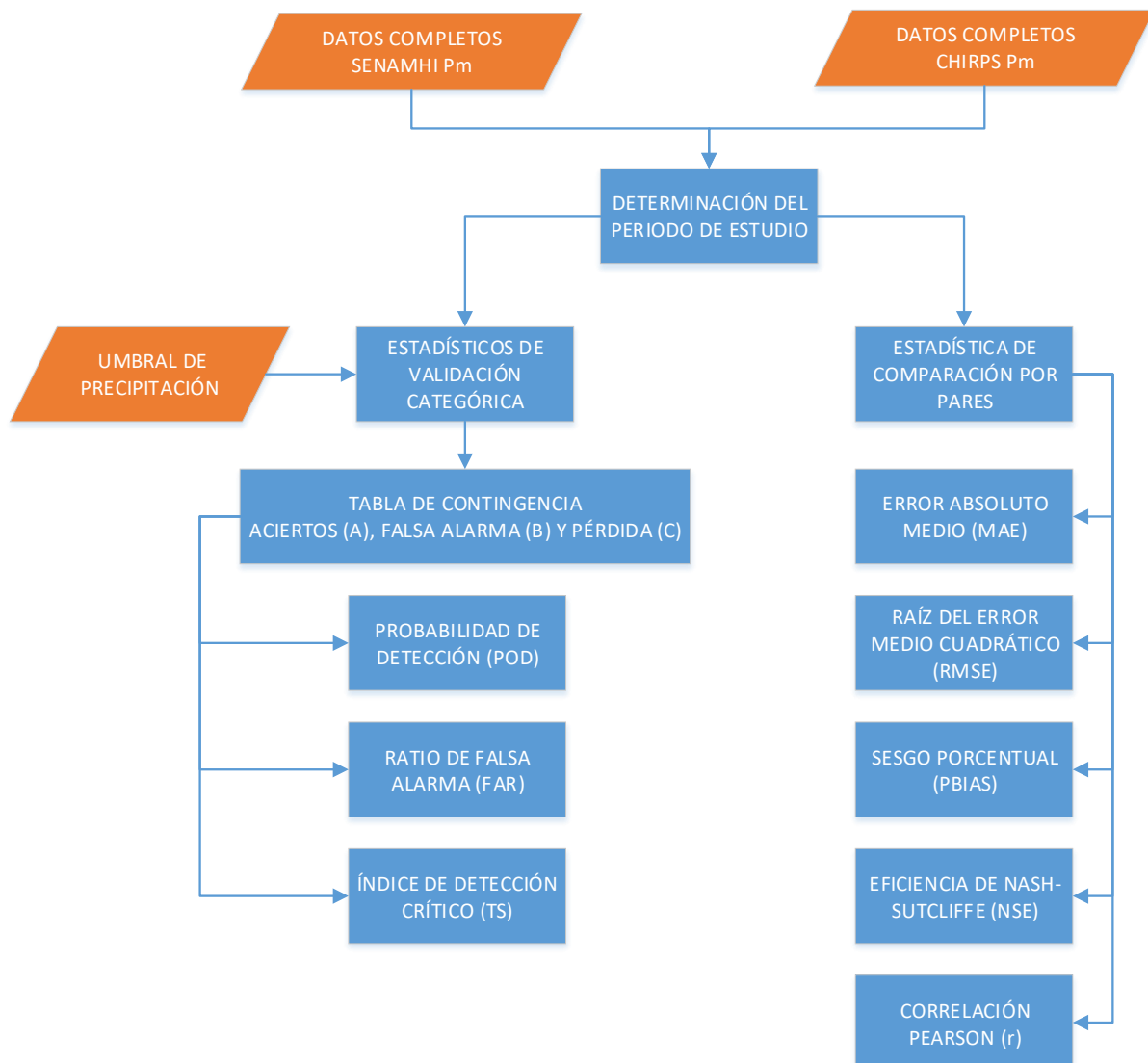
**Tabla 58.** Datos completados de la precipitación mensual – Estación Colquepata.

ESTACIÓN METEOROLOGICA: COLQUEPATA													
N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1964	62.8	87.41	96.7	56.5	13.20	0.25	2.74	1.13	23.31	14.43	34.15	73.9
2	1965	137.56	45.7	94.7	48.14	0	0	6.05	4.37	49.6	28.36	57	136.9
3	1966	72.9	153.8	75.9	3.2	35.38	1.09	0	3.7	15.6	82.23	73.62	86.46
4	1967	66.84	118.53	114.91	26	9.03	1.63	15.33	11.95	10.84	68.51	68.54	65.77
5	1968	116.28	173.05	50.04	32.53	1.02	13.72	14.33	5.06	8.42	36.24	107.93	63.23
6	1969	97.05	158.85	73.65	53.41	2.05	13.83	16.5	1.14	37.42	24.03	83.96	86.16
7	1970	152.11	114.02	120.32	59.25	13.63	8.2	16.62	0.05	55.12	52.86	19.84	268.81
8	1971	171.21	172.91	157.41	87.2	3.04	2.36	2.62	0.02	0.06	24.73	24.46	117.32
9	1972	114.55	53.17	130.74	49.75	5.92	4.22	13.01	13.76	19.44	31.16	70.11	104.86
10	1973	238.65	94.92	143.62	73.85	26.33	1.44	16.33	10.77	13.99	22.74	37.78	119.54
11	1974	123.67	166.75	64.04	42.32	1.03	34.03	1.02	82.25	1.07	26.3	14.35	82.13
12	1975	133.66	122.46	87.05	24.85	10.66	0.05	3.83	2.73	20.49	4.97	25.53	101.85
13	1976	121.85	68.26	151.81	51.51	11.02	0.04	2.82	13.67	23.96	7.12	18.03	83.86
14	1977	97.67	154.75	92.48	24.42	4.85	0.01	14.83	0.02	27.83	19.55	87.67	31.76
15	1978	141.37	89.99	57.96	45.86	16.13	3.4	6.72	1.4	23.25	3.91	38.84	94.67
16	1979	118.02	75.56	116.73	13.36	1.23	0.02	0.01	6.85	6.23	14.14	61.14	68.76
17	1980	128.35	168.82	80.05	7.14	7.32	1.83	4.1	7.71	1.23	83.68	69.23	67.73
18	1981	194.4	120.9	76.4	71.6	14.1	1.2	0.0	14.3	71.2	59.2	111.7	67.1
19	1982	280.1	110.8	103.7	41.8	7.3	8.67	3.99	27.36	34.43	49.35	93.67	88.68
20	1983	95.91	68.29	60.73	45.30	10.19	10.50	23.87	12.21	16.43	20.53	35.07	82.83
21	1984	208.36	162.02	98.70	45.88	6.11	1.60	0.79	13.20	6.32	63.51	54.74	78.56
22	1985	121.21	111.27	92.76	71.38	22.17	15.10	2.97	5.55	29.49	49.36	100.36	131.26
23	1986	118.82	127.53	131.37	53.83	20.07	13.12	21.75	9.18	13.90	14.00	55.64	96.00
24	1987	194.81	82.81	63.15	30.18	7.22	7.67	27.98	2.77	11.81	33.51	95.38	111.93
25	1988	169.52	116.94	170.83	90.78	18.36	1.42	2.02	2.21	15.33	30.52	31.72	108.76
26	1989	160.89	97.25	132.22	51.31	16.22	8.66	4.85	20.32	25.31	38.08	40.92	75.78
27	1990	170.96	94.24	69.46	49.66	14.66	59.79	3.76	12.03	16.86	75.71	77.38	92.18
28	1991	108.66	118.70	114.78	41.64	18.99	21.72	0.39	0.30	15.92	40.39	49.28	83.95
29	1992	118.91	95.83	63.71	18.48	1.16	19.63	3.21	46.45	5.96	35.41	74.36	62.27
30	1993	178.01	104.51	87.55	43.57	9.62	3.88	5.87	32.76	15.51	49.09	86.03	148.13
31	1994	169.67	168.20	140.32	53.45	13.64	1.37	0.12	4.31	30.21	59.72	52.91	128.64
32	1995	115.67	83.29	123.94	27.04	10.75	1.90	7.51	1.88	21.64	25.17	59.92	111.78
33	1996	167.60	126.59	83.61	46.43	19.64	1.45	3.46	26.25	18.62	43.10	60.20	121.70
34	1997	161.78	158.65	143.79	31.32	11.82	2.83	3.58	20.40	19.14	36.93	93.50	111.37
35	1998	126.66	123.96	92.02	32.87	2.30	6.35	1.42	3.35	7.01	58.87	58.34	66.78
36	1999	150.57	156.58	117.13	68.75	13.57	3.74	4.91	1.84	31.67	29.80	34.93	112.31
37	2000	175.1	121.3	111.6	27.2	2.4	1.3	1.3	1.1	4.7	23.3	1.2	48.2
38	2001	269.0	165.4	155.3	80.3	32.4	1.9	19.2	29.3	20.1	82.1	118.2	91.6
39	2002	120.3	162.1	144.2	75.5	6.6	14.3	50.3	23.4	32.6	73.1	51.6	135.0
40	2003	152.0	164.6	136.9	39.4	13.7	5.8	2.0	24.7	6.3	19.2	23.2	142.9
41	2004	174.9	122.9	80.2	13.5	11.7	9.3	26.7	26.9	33.2	40.4	50.9	109.0
42	2005	63.4	158.7	73.0	35.6	8.4	0.0	4.7	4.8	8.6	32.7	47.4	68.4
43	2006	176.2	56.5	89.6	36.7	2.2	1.2	0.0	24.8	7.1	70.6	67.0	113.0
44	2007	145.9	75.4	163.5	38.9	15.8	0.4	8.7	12.0	7.7	37.1	39.1	135.4
45	2008	165.2	138.9	76.7	36.6	16.8	19.6	4.4	18.2	18.6	62.9	57.0	153.5
46	2009	138.4	122.8	109.5	23.0	1.6	0.0	20.0	3.4	7.7	7.8	135.5	114.0
47	2010	225.5	113.5	160.4	15.1	4.4	10.1	12.5	1.3	10.5	87.4	27.1	145.8
48	2011	149.1	169.9	148.6	55.9	6.1	12.0	21.0	11.3	42.5	39.2	34.1	121.3
49	2012	137.2	166.5	60.0	32.2	9.3	5.0	2.7	4.8	28.8	15.2	82.9	175.3
50	2013	182.3	160.6	116.6	41.6	17.2	18.5	5.3	27.7	9.5	103.7	33.2	169.2
51	2014	199.6	86.7	93.0	40.8	25.4	6.1	8.8	28.5	12.8	37.9	40.0	122.6
52	2015	84.2	89.6	79.9	120.0	52.1	3.8	10.1	20.6	10.7	18.6	111.0	133.2
53	2016	118.0	119.1	18.0	49.0	11.4	10.2	12.2	2.4	12.7	58.9	22.9	98.3
54	2017	104.9	111.3	157.7	43.9	48.3	3.8	1	16.5	12.3	37.4	56.6	72.6
<b>Max. (mm)</b>		<b>280.10</b>	<b>173.05</b>	<b>170.83</b>	<b>120.00</b>	<b>52.10</b>	<b>59.79</b>	<b>50.30</b>	<b>82.25</b>	<b>71.20</b>	<b>103.70</b>	<b>135.50</b>	<b>268.81</b>
<b>Min. (mm)</b>		<b>62.80</b>	<b>45.70</b>	<b>18.00</b>	<b>3.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.06</b>	<b>3.91</b>	<b>1.20</b>	<b>31.76</b>
<b>Media (mm)</b>		<b>146.08</b>	<b>121.35</b>	<b>104.61</b>	<b>44.81</b>	<b>12.70</b>	<b>7.41</b>	<b>8.71</b>	<b>13.05</b>	<b>19.09</b>	<b>40.83</b>	<b>58.47</b>	<b>105.24</b>
<b>Des. Estanda</b>		<b>46.98</b>	<b>35.82</b>	<b>34.97</b>	<b>21.99</b>	<b>10.84</b>	<b>10.12</b>	<b>9.54</b>	<b>14.41</b>	<b>13.98</b>	<b>23.72</b>	<b>29.84</b>	<b>38.20</b>

Se realiza el mismo procedimiento para completar datos de todas las estaciones consideradas

### 3.6.3.3. Estadísticos de validación de datos mensuales

Una vez completada los datos mensuales faltantes se procede a la evaluación de los datos estimados por satélite.



**Figura 80.** Flujograma general de la validación de los datos mensuales.

Entonces siguiendo el procedimiento de la validación, se establece como periodo de análisis desde el año 1981 hasta el 2017, periodo desde el cual está disponible la información estimada por satélite.



### 3.6.3.3.1. Estadísticos de validación categórica

Para mostrar el procedimiento del cálculo de los estadísticos de validación Categórica consideramos la precipitación de 60 mm, que esta alrededor del promedio de la precipitación de las estaciones consideradas en la investigación, sin considerar las estaciones de Quebrada, Quillabamba, Chontachaca y San Gaban por ubicarse en zona de ceja de selva.

**Tabla 59.** Aciertos (A), Falsa Alarma (B) y Pérdida (C) para un umbral de 60 mm.

N	ESTACIONES	A	B	C
1	CUNYAC	151	56	3
2	COLQUEPATA	145	14	30
3	CHITAPAMPA	148	10	28
4	SAN GABAN	367	3	71
5	NUÑO A	159	20	16
6	QUILLABAMBA	214	22	45
7	KAYRA	158	11	20
8	QUEBRADA	254	14	38
9	CHALLABAMBA	195	23	20
10	CHONTACHACA	321	0	107
11	CURAHUASI	171	24	19
12	MACHUPICCHU	245	3	97
13	URUBAMBA	142	42	4
14	ANTA	181	15	21
15	CALCA	145	17	28
16	PARURO	163	19	29
17	ACOMAYO	176	16	31
18	PAUCARTAMBO	165	48	3
19	CCATCCA	155	14	18
20	OLLACHEA	228	71	18
21	COMBAPATA	182	7	20
22	SICUANI	174	12	23
23	MACUSANI	170	73	2
24	CAYCAY	146	9	21
25	POMACANCHI	188	7	29
26	STA_ROSA	182	9	22
27	PISAQ	123	21	18
28	PERAYOC	160	12	48
29	YAURI	158	10	21
30	CHUQUIBAMBILL	169	8	28
31	CRUCERO	163	47	9

De la **Tabla 59** se puede calcular los estadísticos de validación categórica para la estación Kayra.

**Tabla 60.** Tabla de contingencia para un umbral de 60 mm/día-Estación Kayra.

	Observado $\geq$ umbral	Observado $<$ umbral	Total
Satélite $\geq$ umbral	158	11	<b>169</b>
Satélite $<$ umbral	20		
Total	<b>178</b>		

$$A_{60mm} := ResA(7, 5) = 158.00$$

$$B_{60mm} := ResB(7, 5) = 11.00$$

$$C_{60mm} := ResC(7, 5) = 20.00$$

$$C_{60mm} = 20.00$$

$$POD := \frac{A_{60mm}}{A_{60mm} + C_{60mm}} \rightarrow \frac{79}{89} = 0.89$$

$$FAR := \frac{B_{60mm}}{A_{60mm} + B_{60mm}} \rightarrow \frac{11}{169} = 0.07$$

$$TS := \frac{A_{60mm}}{A_{60mm} + B_{60mm} + C_{60mm}} \rightarrow \frac{158}{189} = 0.84$$

De la misma manera se calcula los estadísticos de validación Categórica para el umbral de 60 mm de precipitación del pixel de precipitación CHIRPS que se corresponde a cada estación meteorológica.

**Tabla 61.** Indicadores estadísticos de validación Categórica para umbral = 60 mm.

N	ESTACIONES	A	B	C	OBS=A+C	CHIRPS=A+B	A+B+C	POD	FAR	TS
1	CUNYAC	151	56	3	154	207	210	0.98	0.27	0.72
2	COLQUEPATA	145	14	30	175	159	189	0.83	0.09	0.77
3	CHITAPAMPA	148	10	28	176	158	186	0.84	0.06	0.80
4	SAN GABAN	367	3	71	438	370	441	0.84	0.01	0.83
5	NUÑO A	159	20	16	175	179	195	0.91	0.11	0.82
6	QUILLABAMBA	214	22	45	259	236	281	0.83	0.09	0.76
7	KAYRA	158	11	20	178	169	189	0.89	0.07	0.84
8	QUEBRADA	254	14	38	292	268	306	0.87	0.05	0.83
9	CHALLABAMBA	195	23	20	215	218	238	0.91	0.11	0.82
10	CHONTACHACA	321	0	107	428	321	428	0.75	0.00	0.75
11	CURAHUASI	171	24	19	190	195	214	0.90	0.12	0.80
12	MACHUPICCHU	245	3	97	342	248	345	0.72	0.01	0.71
13	URUBAMBA	142	42	4	146	184	188	0.97	0.23	0.76
14	ANTA	181	15	21	202	196	217	0.90	0.08	0.83
15	CALCA	145	17	28	173	162	190	0.84	0.10	0.76
16	PARURO	163	19	29	192	182	211	0.85	0.10	0.77
17	ACOMAYO	176	16	31	207	192	223	0.85	0.08	0.79
18	PAUCARTAMBO	165	48	3	168	213	216	0.98	0.23	0.76
19	CCATCCA	155	14	18	173	169	187	0.90	0.08	0.83
20	OLLACHEA	228	71	18	246	299	317	0.93	0.24	0.72
21	COMBAPATA	182	7	20	202	189	209	0.90	0.04	0.87
22	SICUANI	174	12	23	197	186	209	0.88	0.06	0.83
23	MACUSANI	170	73	2	172	243	245	0.99	0.30	0.69
24	CAYCAY	146	9	21	167	155	176	0.87	0.06	0.83
25	POMACANCHI	188	7	29	217	195	224	0.87	0.04	0.84
26	STA_ROSA	182	9	22	204	191	213	0.89	0.05	0.85
27	PISAQ	123	21	18	141	144	162	0.87	0.15	0.76
28	PERAYOC	160	12	48	208	172	220	0.77	0.07	0.73
29	YAURI	158	10	21	179	168	189	0.88	0.06	0.84
30	CHUQUIBAMBILL	169	8	28	197	177	205	0.86	0.05	0.82
31	CRUCERO	163	47	9	172	210	219	0.95	0.22	0.74

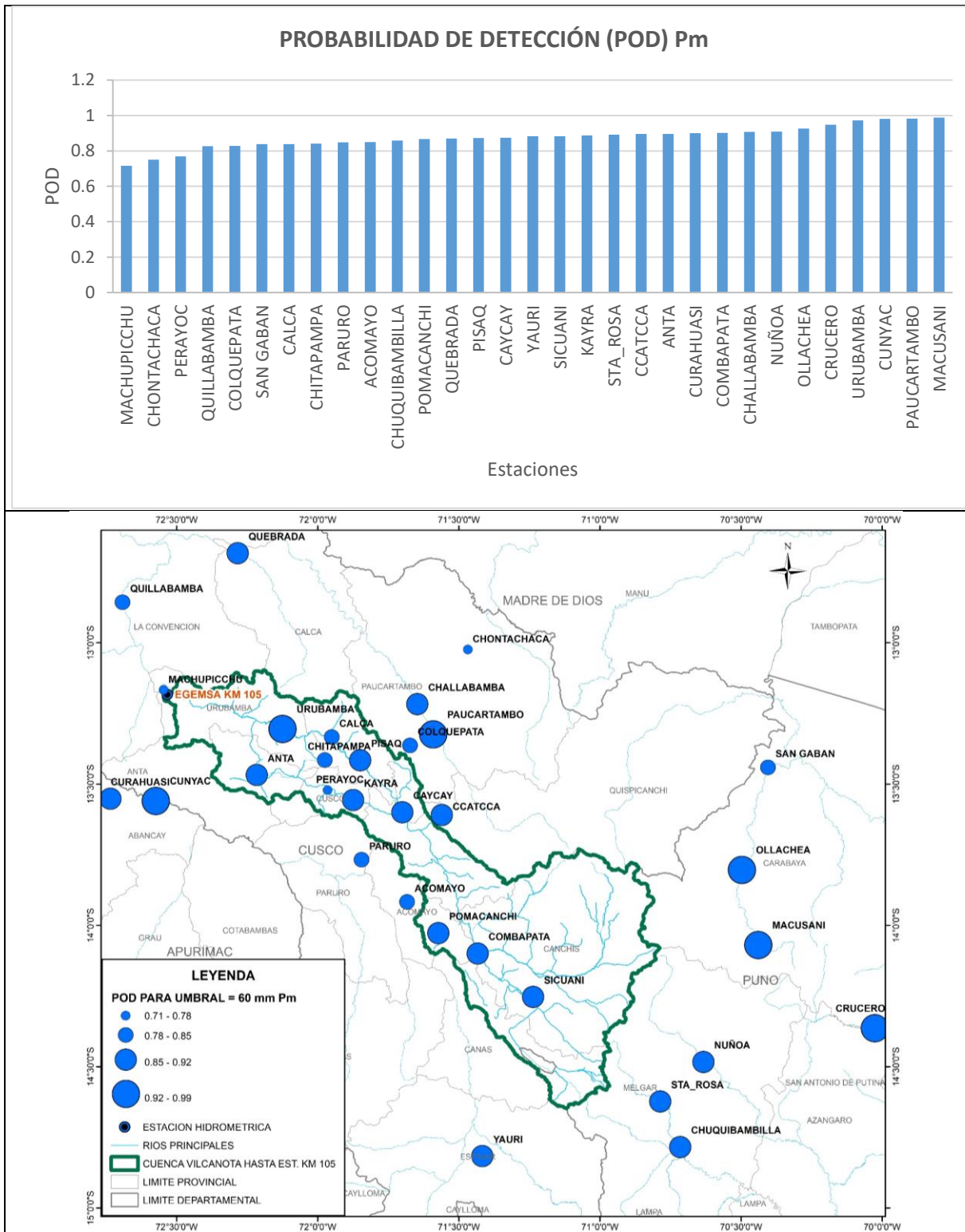


Figura 81. Probabilidad de detección (POD) de la precipitación diaria para umbral = 60 mm.

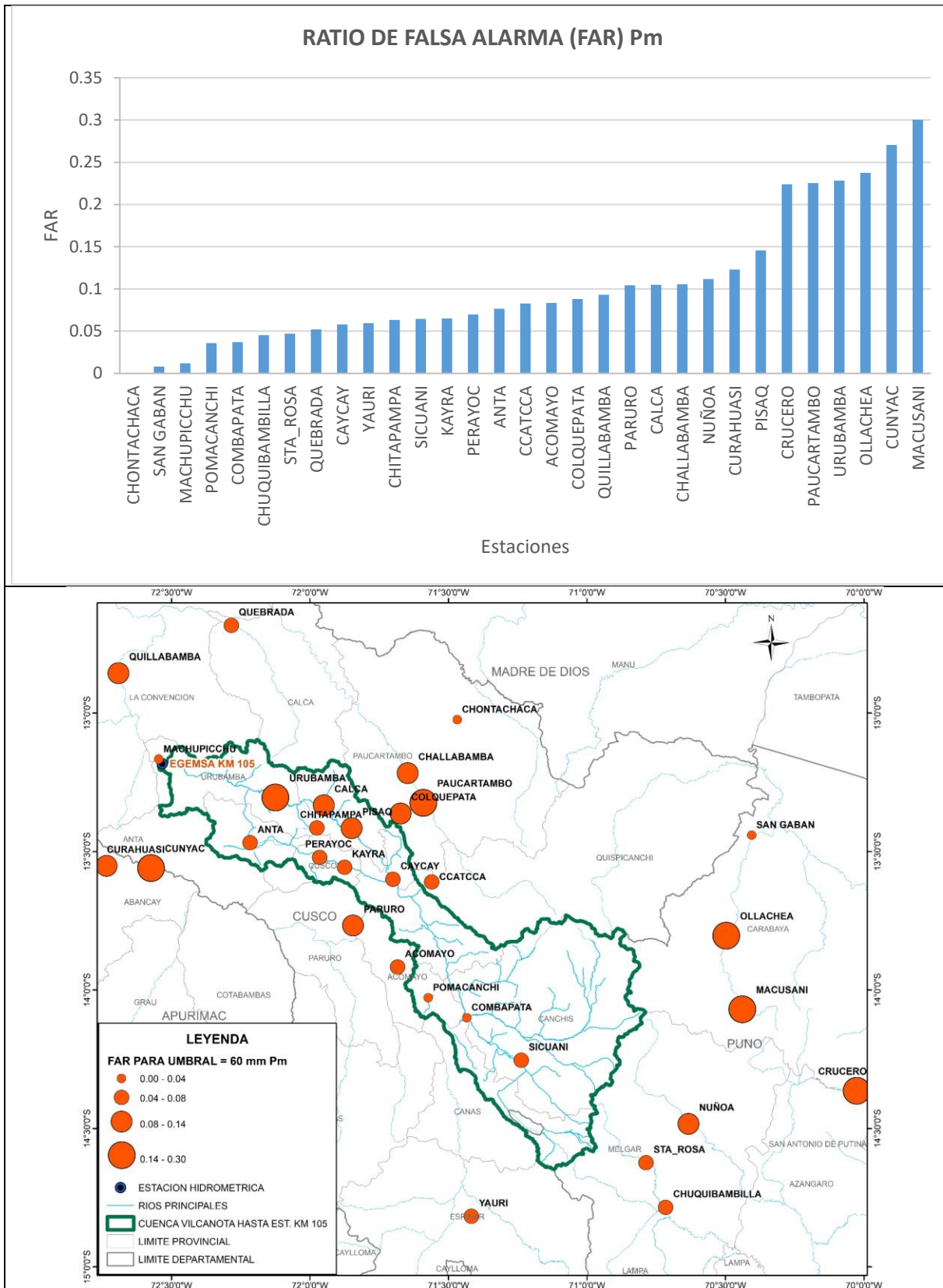


Figura 82. Ratio de Falsa Alarma (FAR) de la precipitación mensual para umbral = 60 mm.

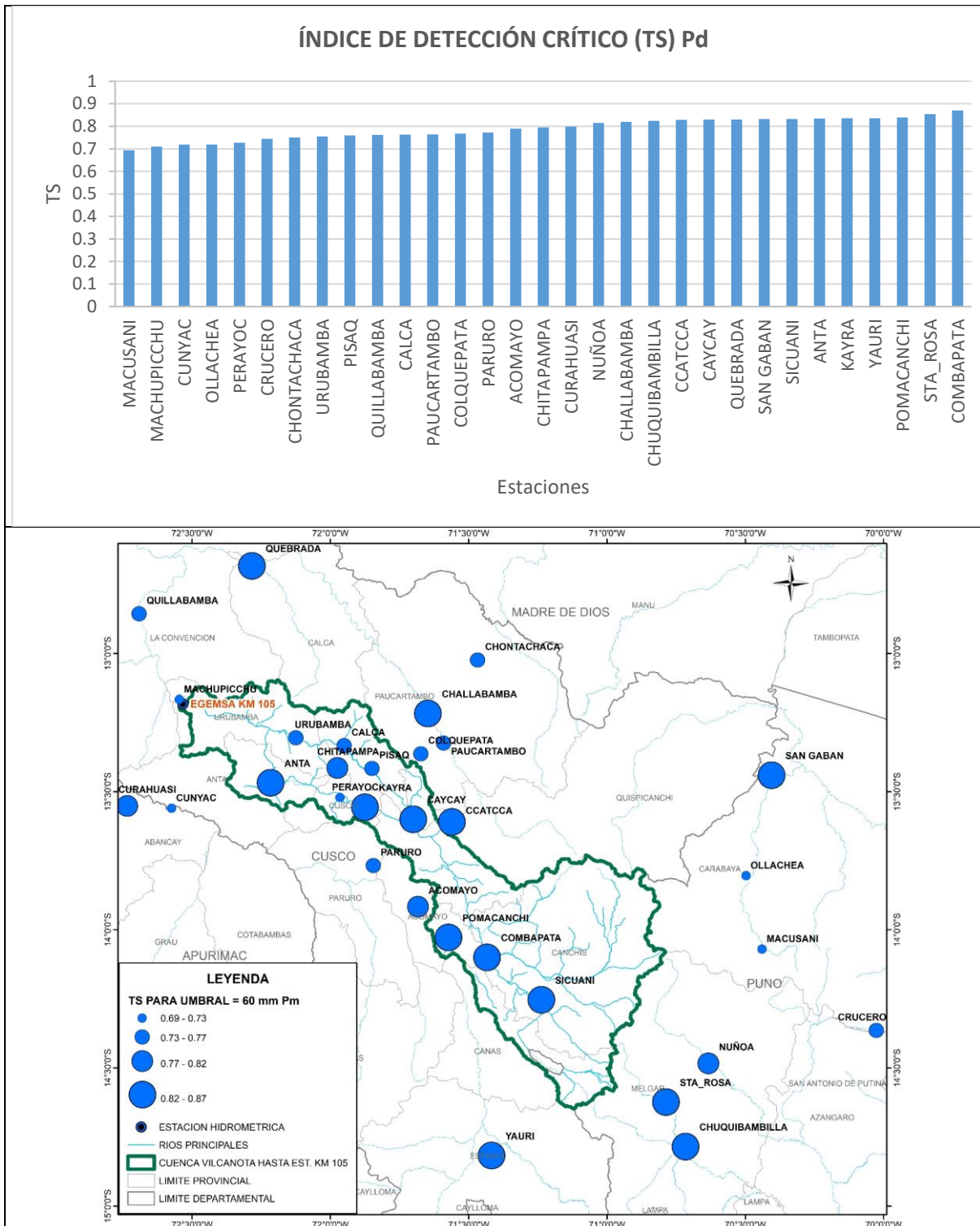


Figura 83. Índice de detección crítico (TS) de la precipitación mensual para umbral=60 mm.

**Tabla 62.** Resultados de aciertos (A) para los umbrales de precipitación mensual.

n	ESTACIONES	UMBRALES DE PRECIPITACIÓN (mm)								
		10	20	40	60	80	100	120	140	150
1	CUNYAC	284	249	194	151	105	55	27	8	5
2	COLQUEPATA	325	259	198	145	111	79	43	27	21
3	CHITAPAMPA	303	258	207	148	111	77	43	22	15
4	SAN GABAN	443	442	404	367	343	332	326	313	311
5	NUÑO A	297	259	198	159	124	87	56	32	23
6	QUILLABAMBA	412	351	274	214	178	138	104	78	70
7	KAYRA	278	246	202	158	124	84	44	23	13
8	QUEBRADA	408	358	293	254	230	205	163	133	116
9	CHALLABAMBA	351	293	228	195	162	120	93	66	56
10	CHONTACHACA	440	406	351	321	295	274	251	228	221
11	CURAHUASI	304	257	209	171	128	103	68	42	32
12	MACHUPICCHU	438	407	294	245	196	162	128	83	76
13	URUBAMBA	293	246	186	142	89	49	29	6	4
14	ANTA	302	261	222	181	140	108	81	59	48
15	CALCA	313	258	192	145	105	66	32	14	10
16	PARURO	283	255	206	163	132	98	67	42	29
17	ACOMAYO	294	259	215	176	143	102	72	42	28
18	PAUCARTAMBO	333	276	203	165	117	82	53	31	19
19	CCATCCA	305	247	196	155	115	82	41	19	14
20	OLLACHEA	393	349	275	228	195	159	138	109	91
21	COMBAPATA	308	263	218	182	138	99	69	35	24
22	SICUANI	299	267	216	174	141	103	71	39	29
23	MACUSANI	315	270	212	170	129	83	39	18	12
24	CAYCAY	273	233	189	146	100	61	37	17	12
25	POMACANCHI	302	265	228	188	146	110	71	45	34
26	STA_ROSA	297	270	212	182	140	104	65	38	29
27	PISAQ	283	232	170	123	87	48	21	11	7
28	PERAYOC	291	256	215	160	124	87	54	28	23
29	YAURI	287	246	194	158	135	108	72	49	41
30	CHUQUIBAMBILLA	283	260	209	169	132	92	55	31	23
31	CRUCERO	333	281	214	163	119	74	49	26	18

**Tabla 63.** Resultados de falsa alarma (B) para los umbrales de precipitación mensual.

n	ESTACIONES	UMBRALES DE PRECIPITACIÓN (mm)								
		10	20	40	60	80	100	120	140	150
1	CUNYAC	73	76	74	56	56	81	85	80	68
2	COLQUEPATA	29	20	13	14	14	11	12	4	3
3	CHITAPAMPA	34	16	8	10	8	11	9	3	2
4	SAN GABAN	1	2	1	3	4	3	3	5	5
5	NUÑO A	25	28	20	20	20	21	12	8	8
6	QUILLABAMBA	14	18	16	22	21	19	21	27	23
7	KAYRA	10	14	11	11	14	17	14	6	3
8	QUEBRADA	31	13	8	14	16	16	17	18	22
9	CHALLABAMBA	44	42	34	23	21	24	26	26	23
10	CHONTACHACA	3	1	0	0	0	0	0	0	0
11	CURAHUASI	53	71	39	24	19	17	30	25	17
12	MACHUPICCHU	6	20	7	3	1	0	1	1	0
13	URUBAMBA	129	93	53	42	47	52	34	29	22
14	ANTA	43	30	16	15	15	17	17	12	13
15	CALCA	101	82	39	17	23	25	26	12	13
16	PARURO	11	8	13	19	15	17	15	12	6
17	ACOMAYO	21	12	12	16	16	19	12	14	15
18	PAUCARTAMBO	73	63	57	48	62	54	64	62	60
19	CCATCCA	53	34	21	14	17	15	16	10	6
20	OLLACHEA	51	59	65	71	71	67	69	66	61
21	COMBAPATA	51	27	15	7	16	15	19	17	15
22	SICUANI	28	17	9	12	19	23	33	41	31
23	MACUSANI	129	125	94	73	71	75	74	56	46
24	CAYCAY	27	26	7	9	16	24	11	5	4
25	POMACANCHI	23	12	6	7	12	15	14	15	10
26	STA_ROSA	30	30	23	9	16	7	9	9	11
27	PISAQ	50	44	27	21	19	14	10	4	4
28	PERAYOC	11	7	5	12	10	12	9	6	1
29	YAURI	18	14	9	10	8	7	15	8	7
30	CHUQUIBAMBILLA	25	13	11	8	7	11	12	13	14
31	CRUCERO	63	57	48	47	47	42	37	26	18

**Tabla 64.** Resultados de Pérdida (C) para los umbrales de precipitación mensual.

n	ESTACIONES	UMBRALES DE PRECIPITACIÓN (mm)								
		10	20	40	60	80	100	120	140	150
1	CUNYAC	4	4	3	3	5	1	0	0	0
2	COLQUEPATA	27	31	23	30	31	30	33	22	19
3	CHITAPAMPA	16	13	18	28	29	30	31	20	17
4	SAN GABAN	0	0	37	71	91	100	104	112	110
5	NUÑO A	22	13	13	16	19	21	27	22	17
6	QUILLABAMBA	11	29	47	45	46	48	37	39	40
7	KAYRA	26	16	16	20	23	31	30	23	23
8	QUEBRADA	0	25	48	38	29	29	46	45	47
9	CHALLABAMBA	14	18	21	20	18	26	25	22	19
10	CHONTACHACA	1	34	85	107	125	141	157	175	179
11	CURAHUASI	13	9	20	19	26	25	19	17	20
12	MACHUPICCHU	0	13	85	97	116	121	123	152	147
13	URUBAMBA	2	5	10	4	12	7	5	3	3
14	ANTA	20	14	11	21	30	32	36	31	32
15	CALCA	4	7	22	28	17	13	13	9	5
16	PARURO	24	19	24	29	28	29	37	45	47
17	ACOMAYO	26	13	21	31	21	30	34	34	30
18	PAUCARTAMBO	5	12	10	3	5	5	1	4	4
19	CCATCCA	9	18	11	18	19	20	22	23	15
20	OLLACHEA	0	8	14	18	19	20	16	17	20
21	COMBAPATA	6	10	15	20	24	25	26	22	26
22	SICUANI	17	8	21	23	18	16	17	8	6
23	MACUSANI	0	0	3	2	5	12	15	10	6
24	CAYCAY	31	18	16	21	28	23	16	22	20
25	POMACANCHI	25	17	20	29	30	39	39	24	25
26	STA_ROSA	20	10	23	22	28	38	42	44	40
27	PISAQ	22	13	14	18	23	26	22	19	18
28	PERAYOC	28	22	20	48	43	49	49	46	40
29	YAURI	30	26	30	21	21	29	33	37	38
30	CHUQUIBAMBILLA	21	18	21	28	32	31	37	27	24
31	CRUCERO	1	8	13	9	14	17	15	21	23



### 3.6.3.3.2. Estadísticas de comparación por pares.

- Error absoluto medio

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Si - Oi|$$

n=444 ,

$$\sum_{i=1}^n |Si - Oi| = 6126.46$$

$$MAE = \frac{6126.46}{444}$$

$$MAE = 13.798 \text{ mm}$$

- Raíz del error medio cuadrático

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}$$

n=444 ,

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2 = 200413.44$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{200413.44}{444}}$$

$$RMSE = 21.246 \text{ mm}$$

- Sesgo porcentual

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)}{\sum_{i=1}^n Oi}$$

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi) = -2188.57$$

$$\sum_{i=1}^n (Oi) = 25375.38$$

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{-2188.57}{25375.38}$$

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS == -8.625$$

- **Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)**

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2}$$

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2 = 200413.44$$

$$\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2 = 1477762.66$$

$$NSE = 1 - \frac{200413.44}{1477762.66}$$

$$NSE = 0.864$$

- **Coefficiente de correlación de Pearson (r)**

$$r_x = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$n=444$$

$$\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] = 1226591.03$$

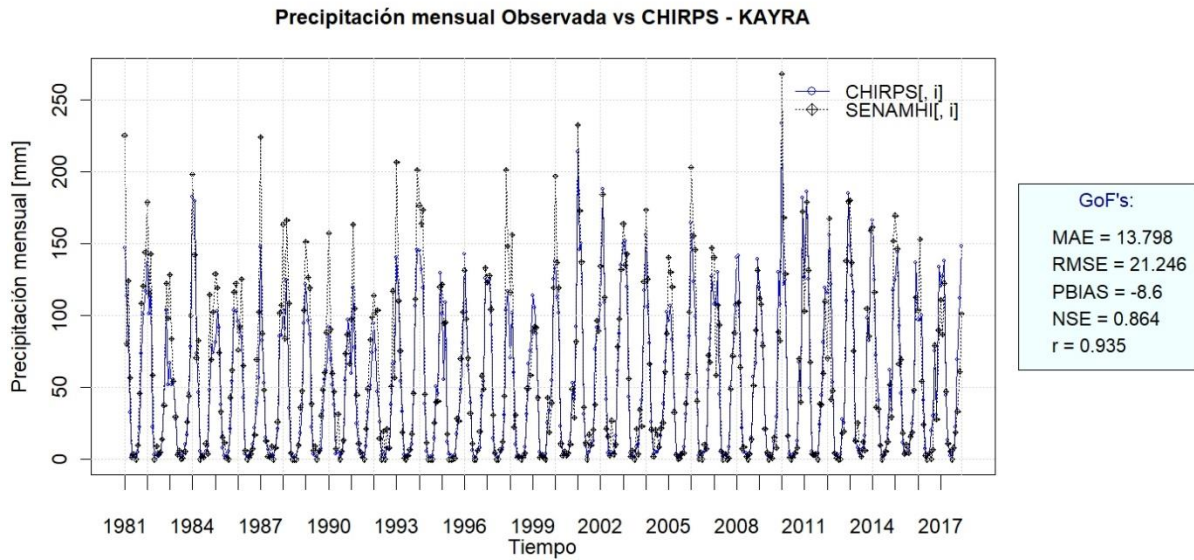
$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 1477762.66$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = 1165044.91$$

$$r_x = \frac{\frac{1}{444-1} 1226591.03}{\sqrt{\frac{1}{444-1} 1477762.66} * \sqrt{\frac{1}{444-1} 1165044.91}} = \frac{2768.828}{57.756 * 51.282}$$

$$r_x = 0.935$$

En la **Figura 84** se puede observar la disposición de datos de precipitación mensual observados y estimados por satélite CHIRPS e indicadores estadísticos de comparación por pares. Estación Kayra.



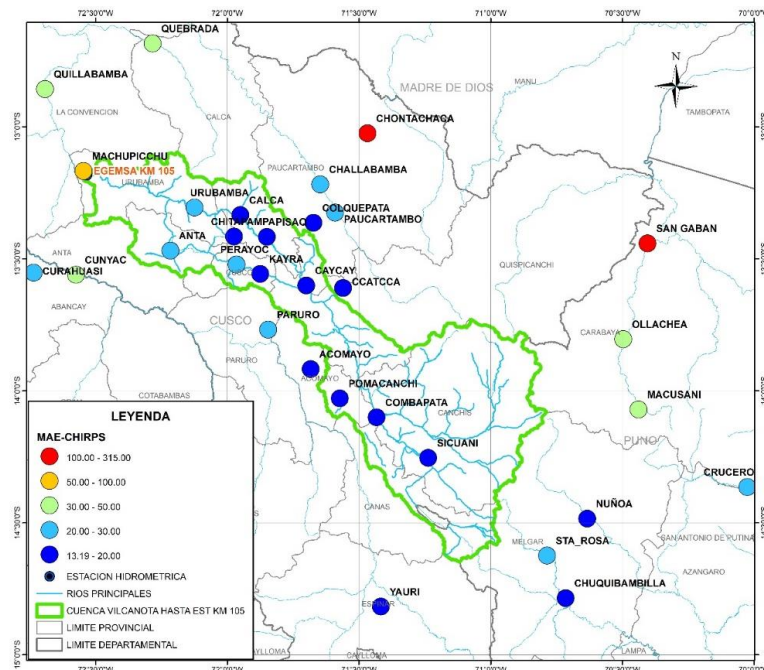
**Figura 84.** Serie de tiempo de la precipitación mensual de datos observados y estimados por satélite CHIRPS.

**Tabla 65.** Resumen de indicadores de la estadística de comparación por pares.

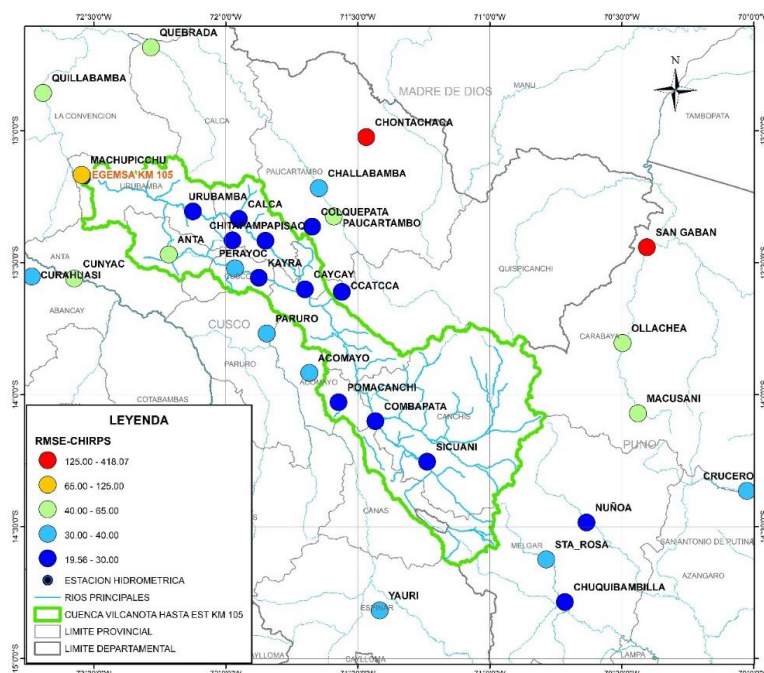
N	ESTACIONES	MAE_CHIRPS	RMSE_CHIRPS	PBIAS_CHIRPS	NSE_CHIRPS	Pearson_CHIRPS
1	CUNYAC	30.920	42.818	67.200	0.033	0.897
2	COLQUEPATA	15.350	22.159	-9.700	0.841	0.923
3	CHITAPAMPA	13.995	22.194	-9.500	0.845	0.928
4	SAN GABAN	310.462	418.075	-47.700	-0.382	0.528
5	NUÑO A	15.595	24.460	-1.500	0.824	0.908
6	QUILLABAMBA	30.401	43.203	-11.500	0.660	0.828
7	KAYRA	13.798	21.246	-8.625	0.864	0.935
8	QUEBRADA	35.680	49.225	-12.900	0.710	0.861
9	CHALLABAMBA	23.790	34.640	4.200	0.753	0.875
10	CHONTACHACA	267.563	320.294	-60.200	-1.054	0.607
11	CURAHUASI	21.630	30.941	6.800	0.751	0.870
12	MACHUPICCHU	91.972	121.809	-50.900	0.086	0.853
13	URUBAMBA	21.571	28.209	39.300	0.573	0.883
14	ANTA	25.362	42.787	-12.400	0.740	0.881
15	CALCA	17.509	23.283	14.600	0.758	0.887
16	PARURO	20.058	31.191	-13.900	0.799	0.908
17	ACOMAYO	19.706	30.749	-11.100	0.795	0.900
18	PAUCARTAMBO	28.907	41.584	46.100	0.305	0.877
19	CCATCCA	14.613	20.411	1.800	0.858	0.926
20	OLLACHEA	47.388	62.984	20.500	0.444	0.733
21	COMBAPATA	16.565	25.856	-0.800	0.821	0.906
22	SICUANI	16.206	24.879	7.900	0.809	0.922
23	MACUSANI	34.613	44.399	55.100	0.254	0.807
24	CAYCAY	13.195	19.569	-6.100	0.861	0.930
25	POMACANCHI	18.275	27.549	-10.300	0.826	0.916
26	STA_ROSA	20.822	31.990	-11.400	0.783	0.897
27	PISAQ	15.513	23.651	0.100	0.784	0.886
28	PERAYOC	21.043	33.500	-20.600	0.763	0.908
29	YAURI	19.934	31.623	-13.600	0.811	0.913
30	CHUQUIBAMBILLA	17.493	27.745	-10.900	0.800	0.901
31	CRUCERO	23.805	34.970	14.700	0.684	0.838

## Estadísticas de comparación por pares según ubicación de estaciones

En la *Figura 85* y *Figura 86*, se pueden observar que los valores de MAE y RMSE son las más altas en la zona de ceja de selva, donde se ubican las estaciones de Chontachaca, San Gaban con valores de MAE superiores a 100 mm y RMSE superiores a 125 mm.

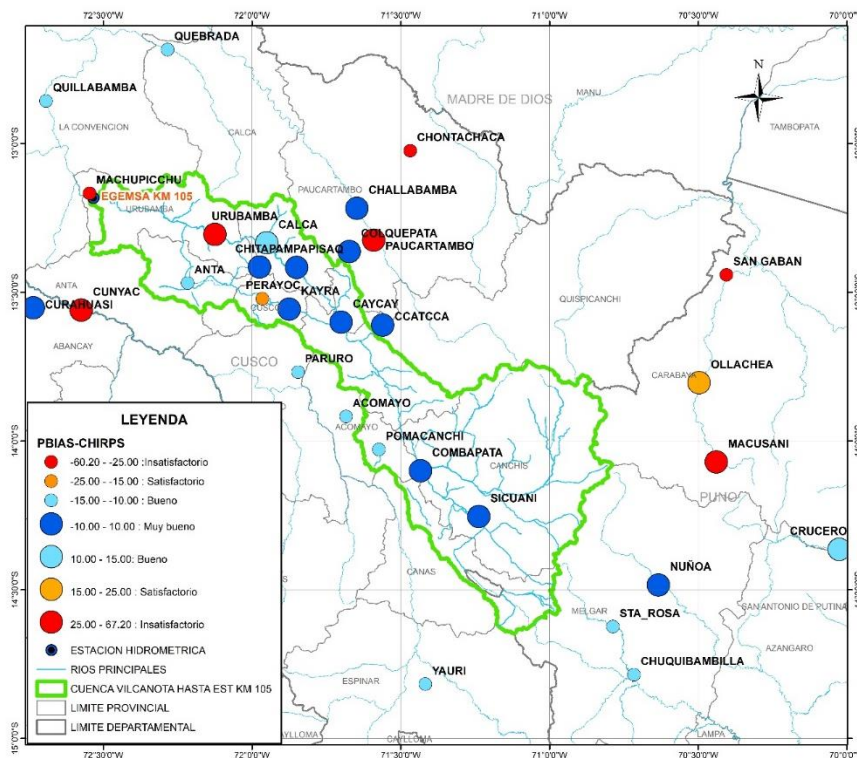


**Figura 85.** Variación espacial del Error Absoluto Medio (MAE) precipitación mensual sin corregir.



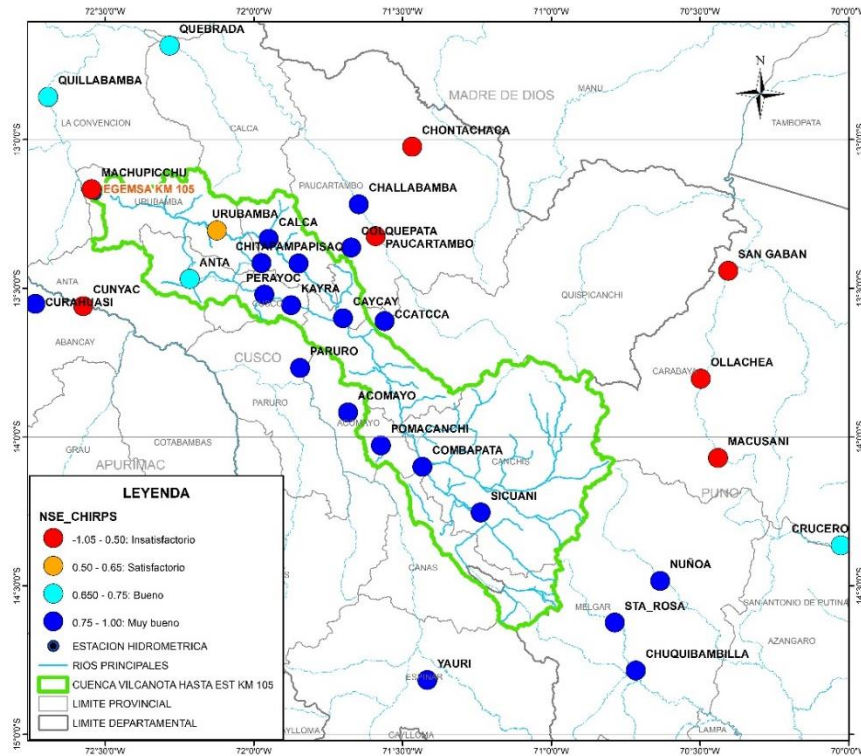
**Figura 86.** Variación espacial de la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE) de la precipitación mensual sin corregir.

De acuerdo al sesgo porcentual con respecto a la precipitación mensual observada y según la **Figura 87**, las estaciones de Chontachaca, San Gaban y Machupicchu, muestran una subestimación de la precipitación con PBIAS menores a -25 estando dentro de los criterios de evaluación como insatisfactoria, por otro lado las estaciones de Cunyac, Urubamba, Paucartambo y Macusani muestran sobreestimación de la precipitación con PBIAS mayores a 25, las estaciones Curahuasi, Chitapampa, Písaq, Challabamba, Colquepata, Kayra, Caycay, Ccatcca, Combapata, Sicuani y Nuñoa con PBIAS entre -10 a 10, son considerados como sesgo muy bueno, el resto de las estaciones está dentro del rango de subestimación y sobreestimación de la precipitación mensual.



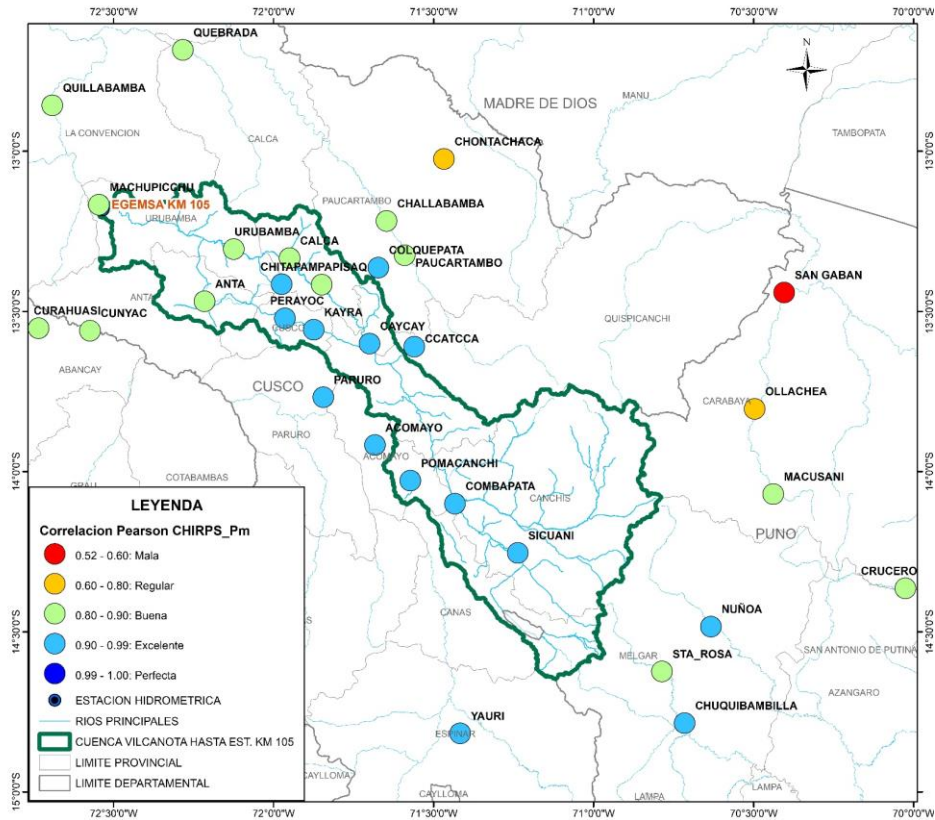
**Figura 87.** Variación espacial del Sesgo Porcentual (PBIAS) de la precipitación mensual sin corregir.

En cuanto a la NSE según muestra la **Figura 88**, las estaciones Cunyac, Machupicchu, Chontachaca, Paucartambo, San Gaban, Ollachea y Macusani tienen NSE menores a 0.50, lo que nos indica que la eficiencia de la estimación por satélite CHIRPS se considera como insatisfactoria, por otro lado las estaciones Calca, Challabamba, Chitapampa, Písaq, Colquepata, Perayoc, Kayra, Caycay, Ccatcca, Paruro, Acomayo, Pomacanchi, Combapata, Sicuani, Yauri, Santa Rosa, Nuñoa y Chuquibambilla tienen NSE mayor a 0.75, lo que significa que la eficiencia de la estimación por satélite CHIRPS se considera como muy buena.



**Figura 88.** Variación espacial de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación mensual sin corregir.

Según los criterios considerados para la evaluación en la Correlación de datos, en la estación San Gaban se tiene  $r > 0.60$ , lo que significa que no hay correlación, en la estaciones Chontachaca y Ollachea  $0.60 < r < 0.80$ , que significa correlación regular, las estaciones Quillabamba, Quebrada, Machupicchu, Curahuasi, Cunyac, Anta, Urubamba, Calca, Písaq, Challabamba, Paucartambo, Macusani, Santa Rosa y Crucero  $0.80 < r < 0.90$ , lo que significa correlación buena y finalmente en las estaciones: Chitapampa, Perayoc, Kayra, Colquepata, Caycay, Ccatcca, Paruro, Acomayo, Pomacanchi, Combapata, Sicuani, Yauri, Nuñoa y Chuquibambilla se tiene  $0.90 < r < 0.99$ , que significa que hay una correlación excelente de la precipitación mensual del producto CHIRPS con los datos observados, así como se muestra en la **Figura 89**.



**Figura 89.** Variación espacial de la Correlación de Pearson ( $r$ ) de la precipitación mensual sin corregir.

### 3.6.3.3. Comparación con otros productos de precipitación mensual

Para comparar la estimación del producto CHIRPS, se calculan los estadísticos de validación Categórica y los estadísticos de comparación por pares para los productos PISCO y CHIRPM.

#### a) Estadísticos de validación categórica – precipitación estimada por PISCO

Así se tiene para diferentes umbrales y todas las estaciones de precipitación mensual.



**Tabla 66.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Probabilidad de detección (POD)-PISCO.

UMBRAL	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑO A	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	CALCA	PARURO
10	0.97	0.96	0.91	1.00	0.95	0.88	0.98	0.97	0.96	1.00	0.95	0.95	0.94	0.89	0.93	0.94
20	0.94	0.96	0.92	0.99	0.98	0.89	0.98	0.95	0.94	1.00	0.96	0.94	0.95	0.93	0.92	0.96
40	0.92	0.93	0.95	0.93	0.96	0.86	0.97	0.93	0.98	1.00	0.95	0.92	0.94	0.94	0.90	0.94
60	0.97	0.95	0.95	0.89	0.96	0.87	0.99	0.92	0.94	0.99	0.93	0.90	0.95	0.92	0.86	0.90
80	0.97	0.88	0.90	0.85	0.94	0.86	0.96	0.93	0.97	0.97	0.91	0.88	0.86	0.93	0.82	0.89
100	1.00	0.86	0.88	0.79	0.90	0.82	0.92	0.91	0.93	0.95	0.86	0.89	0.88	0.92	0.61	0.86
120	0.96	0.88	0.82	0.75	0.90	0.86	0.88	0.85	0.90	0.94	0.84	0.91	0.71	0.84	0.36	0.85
140	1.00	0.83	0.62	0.71	0.83	0.82	0.78	0.86	0.87	0.94	0.84	0.90	0.44	0.78	0.26	0.77
150	1.00	0.62	0.69	0.69	0.85	0.79	0.64	0.83	0.86	0.93	0.78	0.90	0.29	0.76	0.13	0.74

**Tabla 67.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Probabilidad de detección (POD)-PISCO.

UMBRAL	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	STA. ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	CHUQUIBAMBILLA	CRUCERO
10	0.97	0.95	0.96	0.94	0.91	0.98	0.97	0.92	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.98	0.97
20	1.00	0.92	0.97	0.88	0.96	0.98	0.94	0.95	0.97	0.97	0.96	0.95	0.88	0.96	0.94
40	1.00	0.95	0.98	0.87	0.97	0.97	0.92	0.97	0.98	0.95	0.99	0.94	0.80	0.94	0.89
60	0.95	0.94	0.95	0.86	0.95	0.96	0.93	0.93	0.94	0.94	0.96	0.89	0.86	0.93	0.85
80	0.97	0.93	0.91	0.83	0.91	0.94	0.94	0.90	0.95	0.93	0.90	0.85	0.88	0.92	0.78
100	0.93	0.90	0.88	0.82	0.91	0.92	0.84	0.92	0.88	0.92	0.88	0.80	0.88	0.88	0.66
120	0.92	0.90	0.90	0.80	0.85	0.86	0.72	0.92	0.90	0.93	0.67	0.74	0.86	0.78	0.66
140	0.92	0.67	0.71	0.75	0.82	0.87	0.71	0.76	0.90	0.85	0.43	0.53	0.80	0.82	0.43
150	0.88	0.57	0.69	0.77	0.70	0.79	0.78	0.65	0.92	0.84	0.32	0.55	0.76	0.85	0.27

**Tabla 68.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Ratio de falsa alarma (FAR)-PISCO.

UMBRAL	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑO A	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	CALCA	PARURO
10	0.06	0.04	0.02	0.00	0.07	0.01	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.06	0.06	0.04
20	0.09	0.04	0.03	0.00	0.10	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.03	0.06	0.04	0.03
40	0.18	0.06	0.04	0.00	0.19	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.07	0.06	0.05	0.06
60	0.23	0.05	0.10	0.01	0.20	0.06	0.03	0.05	0.03	0.04	0.00	0.04	0.11	0.10	0.06	0.08
80	0.41	0.08	0.14	0.01	0.27	0.07	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.18	0.11	0.15	0.12
100	0.66	0.09	0.16	0.01	0.36	0.12	0.04	0.03	0.10	0.04	0.04	0.04	0.18	0.14	0.20	0.18
120	0.83	0.14	0.24	0.01	0.41	0.16	0.04	0.05	0.13	0.04	0.05	0.06	0.23	0.16	0.36	0.17
140	0.95	0.07	0.35	0.01	0.55	0.20	0.08	0.07	0.14	0.04	0.02	0.07	0.50	0.19	0.54	0.16
150	0.96	0.08	0.15	0.01	0.62	0.16	0.12	0.11	0.17	0.03	0.07	0.08	0.33	0.20	0.60	0.17





**Tabla 69.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Ratio de falsa alarma (FAR)-PISCO.

UMBRAL	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	STA_ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	CHUQUIBAMBILLA	CRUCERO
10	0.02	0.04	0.01	0.04	0.04	0.02	0.15	0.06	0.02	0.02	0.09	0.02	0.04	0.00	0.09
20	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.16	0.05	0.03	0.02	0.15	0.02	0.02	0.02	0.12
40	0.04	0.02	0.02	0.04	0.08	0.02	0.15	0.04	0.02	0.04	0.20	0.04	0.04	0.01	0.14
60	0.05	0.03	0.02	0.06	0.07	0.03	0.19	0.05	0.02	0.03	0.28	0.05	0.05	0.02	0.16
80	0.10	0.08	0.04	0.05	0.15	0.06	0.24	0.08	0.06	0.08	0.29	0.10	0.06	0.03	0.23
100	0.13	0.10	0.02	0.09	0.19	0.08	0.40	0.17	0.07	0.05	0.32	0.10	0.09	0.09	0.38
120	0.09	0.13	0.10	0.10	0.28	0.16	0.64	0.25	0.14	0.08	0.45	0.16	0.21	0.14	0.43
140	0.15	0.19	0.03	0.11	0.34	0.18	0.77	0.15	0.23	0.14	0.41	0.28	0.28	0.19	0.57
150	0.18	0.24	0.05	0.11	0.38	0.31	0.81	0.20	0.19	0.19	0.43	0.26	0.33	0.19	0.65

**Tabla 70.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Índice de detección crítico (TS)-PISCO.

UMBRAL	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑO A	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	CALCA	PARURO
10	0.92	0.93	0.89	1.00	0.89	0.87	0.96	0.94	0.95	0.99	0.94	0.94	0.92	0.84	0.88	0.91
20	0.86	0.93	0.90	0.99	0.88	0.87	0.96	0.93	0.92	0.99	0.96	0.94	0.92	0.88	0.88	0.93
40	0.77	0.88	0.91	0.93	0.78	0.85	0.94	0.91	0.95	0.98	0.93	0.89	0.88	0.88	0.86	0.89
60	0.75	0.91	0.86	0.88	0.78	0.82	0.96	0.88	0.91	0.96	0.93	0.87	0.85	0.83	0.81	0.83
80	0.58	0.82	0.78	0.84	0.70	0.81	0.93	0.90	0.94	0.92	0.88	0.85	0.72	0.84	0.72	0.80
100	0.34	0.79	0.75	0.79	0.60	0.74	0.89	0.88	0.85	0.91	0.84	0.86	0.73	0.80	0.53	0.72
120	0.17	0.77	0.65	0.74	0.56	0.74	0.84	0.81	0.79	0.90	0.80	0.86	0.59	0.72	0.30	0.72
140	0.05	0.78	0.46	0.70	0.41	0.68	0.73	0.80	0.77	0.90	0.83	0.84	0.31	0.66	0.20	0.68
150	0.04	0.59	0.61	0.69	0.35	0.68	0.59	0.75	0.73	0.90	0.74	0.84	0.25	0.64	0.11	0.65

**Tabla 71.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Índice de detección crítico (TS)-PISCO.

UMBRAL	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	STA_ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	JQUIBAMBI	CRUCERO
10	0.95	0.92	0.95	0.90	0.88	0.96	0.83	0.87	0.92	0.92	0.85	0.90	0.87	0.98	0.88
20	0.96	0.90	0.95	0.85	0.93	0.96	0.80	0.91	0.94	0.95	0.82	0.93	0.87	0.95	0.83
40	0.95	0.93	0.95	0.84	0.90	0.95	0.79	0.94	0.96	0.91	0.79	0.91	0.77	0.93	0.78
60	0.90	0.92	0.92	0.82	0.89	0.93	0.77	0.88	0.92	0.92	0.70	0.85	0.82	0.91	0.73
80	0.88	0.86	0.88	0.79	0.78	0.88	0.73	0.83	0.90	0.85	0.66	0.77	0.83	0.90	0.63
100	0.82	0.83	0.86	0.76	0.75	0.85	0.54	0.77	0.83	0.88	0.62	0.73	0.81	0.82	0.47
120	0.85	0.80	0.82	0.74	0.64	0.74	0.32	0.71	0.78	0.86	0.43	0.65	0.70	0.69	0.44
140	0.79	0.58	0.70	0.68	0.58	0.73	0.21	0.67	0.70	0.75	0.33	0.44	0.61	0.69	0.27
150	0.74	0.48	0.67	0.70	0.49	0.59	0.18	0.56	0.75	0.70	0.26	0.46	0.55	0.71	0.18

**b) Estadísticas de comparación por pares precipitación estimada por PISCO****Tabla 72.** Resumen de indicadores de la estadística de comparación por pares.

N	ESTACIONES	MAE_PISCO	RMSE_PISCO	BIAS_PISCO	NSE_PISCO	Pearson_PISCO
1	CUNYAC	43.237	70.174	90.600	-1.690	0.873
2	COLQUEPATA	8.896	14.720	-2.900	0.930	0.965
3	CHITAPAMPA	11.275	18.542	-1.000	0.893	0.946
4	SAN GABAN	283.268	369.334	-40.200	-0.065	0.654
5	NUÑO A	28.745	45.463	34.800	0.399	0.856
6	QUILLABAMBA	25.757	43.911	-8.700	0.651	0.831
7	KAYRA	4.664	9.426	-2.900	0.974	0.988
8	QUEBRADA	23.789	37.950	-8.500	0.830	0.918
9	CHALLABAMBA	10.911	18.011	-0.800	0.934	0.967
10	CHONTACHACA	105.606	181.849	-11.100	0.348	0.658
11	CURAHUASI	7.182	14.136	-7.600	0.948	0.978
12	MACHUPICCHU	32.677	55.177	-7.000	0.815	0.911
13	URUBAMBA	7.690	12.140	0.200	0.922	0.961
14	ANTA	20.703	43.671	-6.300	0.734	0.859
15	CALCA	11.754	18.181	-7.400	0.854	0.927
16	PARURO	14.518	25.537	-2.500	0.866	0.931
17	ACOMAYO	8.498	15.074	0.300	0.951	0.975
18	PAUCARTAMBO	7.097	11.890	-4.000	0.943	0.972
19	CCATCCA	5.587	9.201	-4.800	0.971	0.988
20	OLLACHEA	26.302	42.702	-15.400	0.745	0.882
21	COMBAPATA	15.351	27.754	5.200	0.796	0.905
22	SICUANI	7.306	18.231	0.300	0.898	0.951
23	MACUSANI	29.751	46.786	38.600	0.181	0.821
24	CAYCAY	8.585	12.687	0.000	0.942	0.972
25	POMACANCHI	9.298	15.492	-0.700	0.946	0.973
26	STA_ROSA	10.208	19.561	-2.100	0.920	0.960
27	PISAQ	16.716	25.458	15.100	0.753	0.882
28	PERAYOC	16.768	27.649	-9.500	0.841	0.922
29	YAURI	24.358	39.382	4.600	0.708	0.897
30	CHUQUIBAMBILLA	8.464	16.434	-5.300	0.931	0.966
31	CRUCERO	25.296	41.583	-0.900	0.561	0.752

**c) Estadísticos de validación categórica – precipitación estimada por CHIRPM**



**Tabla 73.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Probabilidad de detección (POD)-CHIRPM.

UMBRAL	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑOÁ	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	CALCA	PARURO
10	0.96	0.96	0.91	1.00	0.94	1.00	0.94	1.00	0.93	1.00	0.97	1.00	0.93	0.93	0.96	0.93
20	0.98	0.91	0.93	1.00	0.97	0.94	0.96	0.94	0.88	1.00	0.94	1.00	0.93	0.94	0.94	0.95
40	0.93	0.91	0.94	1.00	0.97	0.88	0.95	0.89	0.96	1.00	0.92	0.96	0.92	0.95	0.90	0.94
60	0.97	0.89	0.92	1.00	0.96	0.88	0.94	0.92	0.92	0.96	0.91	0.87	0.92	0.92	0.91	0.90
80	0.99	0.83	0.89	0.98	0.94	0.89	0.87	0.95	0.86	0.90	0.87	0.86	0.88	0.92	0.82	0.91
100	0.98	0.80	0.84	0.93	0.93	0.83	0.81	0.91	0.85	0.88	0.82	0.89	0.64	0.90	0.55	0.87
120	0.92	0.61	0.68	0.85	0.84	0.86	0.66	0.91	0.78	0.86	0.69	0.92	0.24	0.84	0.24	0.84
140	1.00	0.48	0.45	0.79	0.74	0.81	0.43	0.85	0.76	0.85	0.48	0.91	0.22	0.75	0.09	0.58
150	1.00	0.36	0.34	0.78	0.73	0.76	0.33	0.84	0.75	0.84	0.31	0.89	0.00	0.61	0.00	0.49

**Tabla 74.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Probabilidad de detección (POD)-CHIRPM.

UMBRAL	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	STA_ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	CHUQUIBAMBILLA	CRUCERO
10	0.92	0.94	0.91	1.00	0.90	0.93	0.99	0.90	0.91	0.93	0.95	0.91	0.94	0.93	0.99
20	0.97	0.86	0.92	0.89	0.94	0.96	0.96	0.93	0.95	0.95	0.95	0.94	0.92	0.92	0.95
40	0.96	0.86	0.95	0.84	0.98	0.96	0.90	0.96	0.97	0.94	0.97	0.94	0.79	0.93	0.88
60	0.92	0.88	0.87	0.84	0.95	0.94	0.93	0.90	0.92	0.94	0.95	0.88	0.85	0.89	0.88
80	0.92	0.84	0.84	0.79	0.94	0.92	0.93	0.85	0.93	0.92	0.91	0.85	0.86	0.82	0.78
100	0.91	0.79	0.79	0.79	0.91	0.84	0.89	0.87	0.84	0.83	0.79	0.77	0.90	0.75	0.71
120	0.83	0.62	0.52	0.76	0.86	0.68	0.70	0.71	0.85	0.74	0.42	0.67	0.93	0.62	0.59
140	0.69	0.27	0.33	0.77	0.70	0.52	0.75	0.50	0.75	0.62	0.23	0.48	0.92	0.51	0.51
150	0.65	0.09	0.31	0.75	0.60	0.47	0.83	0.42	0.66	0.53	0.24	0.42	0.92	0.50	0.39

**Tabla 75.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Ratio de falsa alarma (FAR)-CHIRPM.

UMBRAL	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑOÁ	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	CALCA	PARURO
10	0.09	0.13	0.08	0.00	0.12	0.05	0.07	0.08	0.11	0.01	0.19	0.01	0.14	0.15	0.20	0.06
20	0.16	0.11	0.03	0.00	0.19	0.09	0.09	0.09	0.07	0.01	0.10	0.05	0.06	0.11	0.04	0.06
40	0.22	0.12	0.09	0.01	0.21	0.09	0.11	0.07	0.06	0.02	0.08	0.11	0.12	0.08	0.10	0.08
60	0.24	0.07	0.14	0.01	0.27	0.13	0.12	0.12	0.11	0.04	0.10	0.06	0.20	0.13	0.11	0.13
80	0.42	0.15	0.25	0.02	0.33	0.15	0.17	0.12	0.10	0.03	0.14	0.02	0.28	0.19	0.20	0.15
100	0.70	0.21	0.32	0.02	0.43	0.17	0.28	0.14	0.17	0.03	0.19	0.04	0.48	0.25	0.42	0.25
120	0.86	0.35	0.41	0.01	0.51	0.24	0.36	0.14	0.24	0.03	0.30	0.08	0.67	0.28	0.54	0.32
140	0.96	0.36	0.57	0.02	0.64	0.30	0.49	0.18	0.32	0.03	0.28	0.08	0.67	0.35	0.67	0.40
150	0.97	0.42	0.58	0.02	0.69	0.31	0.48	0.22	0.38	0.04	0.27	0.10	1.00	0.41	1.00	0.41



**Tabla 76.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Ratio de falsa alarma (FAR)-CHIRPM.

UMBRAL	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	STA_ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	CHUQUIBAMBILLA	CRUCERO
10	0.10	0.13	0.11	0.12	0.08	0.09	0.25	0.12	0.08	0.08	0.18	0.06	0.12	0.09	0.19
20	0.08	0.08	0.07	0.10	0.04	0.07	0.22	0.11	0.03	0.10	0.17	0.04	0.08	0.07	0.19
40	0.10	0.09	0.10	0.06	0.10	0.08	0.14	0.11	0.04	0.09	0.26	0.07	0.04	0.10	0.21
60	0.15	0.06	0.14	0.07	0.16	0.13	0.21	0.14	0.09	0.15	0.34	0.08	0.03	0.10	0.23
80	0.19	0.21	0.19	0.11	0.20	0.14	0.31	0.22	0.13	0.17	0.34	0.14	0.08	0.12	0.28
100	0.26	0.32	0.24	0.13	0.29	0.28	0.47	0.33	0.19	0.17	0.45	0.22	0.12	0.23	0.45
120	0.31	0.48	0.44	0.18	0.38	0.40	0.72	0.45	0.31	0.30	0.66	0.30	0.25	0.33	0.56
140	0.44	0.68	0.53	0.24	0.56	0.51	0.79	0.46	0.42	0.33	0.65	0.38	0.33	0.48	0.59
150	0.45	0.86	0.50	0.29	0.55	0.53	0.83	0.46	0.45	0.41	0.45	0.41	0.35	0.49	0.62

**Tabla 77.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Índice de detección crítico (TS)-CHIRPM.

UMBRAL	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑO A	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	CALCA	PARURO
10	0.88	0.83	0.85	1.00	0.84	0.95	0.87	0.92	0.84	0.99	0.79	0.99	0.80	0.80	0.78	0.87
20	0.83	0.82	0.90	1.00	0.79	0.87	0.87	0.87	0.82	0.99	0.85	0.95	0.88	0.84	0.91	0.90
40	0.74	0.81	0.86	0.99	0.77	0.81	0.85	0.84	0.91	0.98	0.85	0.85	0.82	0.87	0.82	0.86
60	0.75	0.84	0.81	0.98	0.71	0.77	0.83	0.82	0.83	0.93	0.83	0.82	0.75	0.81	0.82	0.80
80	0.57	0.72	0.69	0.96	0.64	0.77	0.73	0.84	0.79	0.87	0.76	0.84	0.65	0.76	0.67	0.78
100	0.30	0.66	0.60	0.91	0.55	0.71	0.61	0.79	0.73	0.86	0.69	0.86	0.40	0.69	0.39	0.67
120	0.14	0.46	0.46	0.84	0.45	0.67	0.48	0.79	0.63	0.84	0.54	0.85	0.16	0.63	0.19	0.60
140	0.04	0.38	0.28	0.78	0.32	0.60	0.31	0.72	0.56	0.83	0.41	0.84	0.15	0.54	0.07	0.42
150	0.03	0.29	0.23	0.76	0.28	0.57	0.26	0.68	0.52	0.81	0.28	0.81	0.00	0.42	0.00	0.36

**Tabla 78.** Resumen de los estadísticos de validación categórica. Índice de detección crítico (TS)-CHIRPM.

UMBRAL	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	STA_ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	CHUQUIBAMBILLA	CRUCERO
10	0.84	0.82	0.82	0.88	0.84	0.85	0.74	0.80	0.84	0.86	0.78	0.86	0.83	0.85	0.80
20	0.90	0.81	0.86	0.82	0.90	0.89	0.76	0.84	0.92	0.86	0.80	0.90	0.85	0.86	0.78
40	0.87	0.80	0.85	0.80	0.88	0.89	0.79	0.86	0.93	0.86	0.73	0.88	0.76	0.85	0.71
60	0.79	0.83	0.77	0.79	0.81	0.82	0.74	0.79	0.85	0.81	0.64	0.81	0.83	0.81	0.70
80	0.75	0.69	0.70	0.72	0.76	0.80	0.65	0.68	0.82	0.78	0.62	0.74	0.80	0.74	0.60
100	0.69	0.57	0.63	0.71	0.66	0.64	0.50	0.61	0.70	0.71	0.48	0.63	0.80	0.61	0.45
120	0.60	0.40	0.37	0.65	0.57	0.47	0.25	0.45	0.62	0.57	0.23	0.52	0.71	0.48	0.34
140	0.45	0.17	0.24	0.62	0.37	0.34	0.19	0.35	0.49	0.47	0.16	0.37	0.63	0.35	0.29
150	0.43	0.06	0.24	0.58	0.34	0.31	0.16	0.31	0.43	0.39	0.20	0.33	0.62	0.34	0.24

#### d) Estadísticas de comparación por pares precipitación estimada por CHIRPM

En la **Tabla 79**, se puede observar los indicadores estadísticos de comparación por pares de todas las estaciones para el producto CHIRPM.

**Tabla 79.** Resumen de indicadores de la estadística de comparación por pares.

N	ESTACIONES	MAE_CHIRPMm	RMSE_CHIRPMm	BIAS_CHIRPMm	NSE_CHIRPMm	Pearson_CHIRPMm
1	CUNYAC	46.036	68.709	101.000	-1.578	0.875
2	COLQUEPATA	17.531	25.899	-1.000	0.785	0.886
3	CHITAPAMPA	18.363	27.662	4.200	0.762	0.878
4	SAN GABAN	256.631	345.223	-29.700	0.069	0.637
5	NUÑO	36.652	51.304	47.900	0.235	0.834
6	QUILLABAMBA	32.625	47.481	-1.300	0.591	0.777
7	KAYRA	18.148	27.044	3.000	0.783	0.886
8	QUEBRADA	38.738	51.659	-0.600	0.685	0.831
9	CHALLABAMBA	24.274	37.330	2.500	0.715	0.857
10	CHONTACHACA	147.800	222.288	-15.900	0.026	0.546
11	CURAHUASI	19.285	29.184	-3.000	0.780	0.885
12	MACHUPICCHU	48.461	67.611	-7.300	0.722	0.856
13	URUBAMBA	15.136	20.864	9.400	0.769	0.885
14	ANTA	30.328	50.463	-1.100	0.644	0.803
15	CALCA	15.539	22.042	-0.400	0.785	0.886
16	PARURO	21.803	34.359	0.000	0.757	0.871
17	ACOMAYO	22.925	33.945	7.400	0.750	0.871
18	PAUCARTAMBO	17.343	24.549	-0.700	0.758	0.875
19	CCATCCA	18.111	25.931	1.600	0.772	0.880
20	OLLACHEA	38.491	56.203	-7.500	0.559	0.767
21	COMBAPATA	21.439	32.358	13.800	0.722	0.881
22	SICUANI	18.294	26.975	6.500	0.776	0.889
23	MACUSANI	36.963	54.096	54.600	-0.094	0.800
24	CAYCAY	16.935	24.582	7.000	0.783	0.895
25	POMACANCHI	20.339	30.303	5.100	0.792	0.897
26	STA_ROSA	21.987	33.078	3.200	0.771	0.881
27	PISAQ	22.917	32.903	22.300	0.588	0.803
28	PERAYOC	23.237	36.183	-7.300	0.727	0.856
29	YAURI	26.201	40.714	13.000	0.688	0.898
30	CHUQUIBAMBILLA	21.292	32.004	-1.600	0.737	0.865
31	CRUCERO	30.494	44.903	11.700	0.488	0.720

#### e) Resumen de Estadísticos de validación categórica

##### Estación Kayra

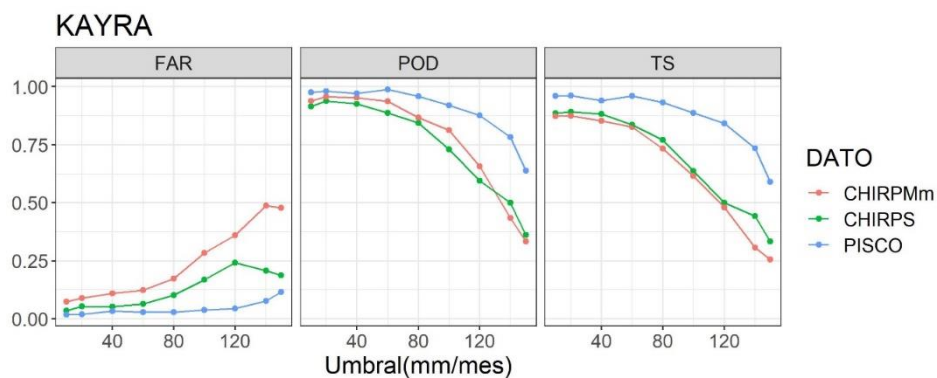
Para verificar y contrastar la calidad del producto CHIRPS se realiza la comparación con otros productos de precipitación mensual disponibles en la web, por lo tanto, para este caso se selecciona la estación Kayra por ser la estación con datos consistentes para la verificación de la calidad de la información satelital.

Entonces según la **Figura 90** muestra los estadísticos categóricos que evalúan las capacidades de detección de lluvia. De izquierda a derecha se puede observar que para el umbral de 10 mm los productos CHIRPS y PISCO tienen habilidades similares de falsa alarma (FAR) igual a  $=0.05$ , pero a partir del umbral 60 mm hasta 120mm, el producto CHIRPS aumenta el valor del FAR desde 0.125 hasta 0.25; por otro lado con respecto a la probabilidad de detección (POD)

para el umbral de  $PO > 10$  mm los productos CHIRPS CHIRPM y PISCO tienen habilidades similares con  $POD = 0.875$ , deteriorándose a medida que se aumenta el umbral siendo la disminución del producto PISCO más que CHIRPM y PISCO. Y finalmente se puede indicar que los valores de TS del producto PISCO son mucho mejores que los productos CHIRPS y CHIRPM, aunque el producto CHIRPS es el segundo producto con buenos indicadores de validación Categórica.

Finalmente se puede indicar que el producto CHIRPS es el segundo producto con capacidades de detección de lluvia después del producto PISCO.

A continuación, se muestra el resumen de los resultados de la comparación con otros productos.



**Figura 90.** Comparativo de los estadísticos de validación categórica. Kayra.

El detalle de cada una de las estaciones se encuentra en el anexo A.3.2.

#### f) Resumen de estadísticas de comparación por pares

Los resultados de la evaluación estadística de cada producto se muestran en el ítem 4.1.2.3.3.

El detalle de cada una de las estaciones se encuentra en el anexo A.3.3.

### 3.6.3.4. Estadísticos de validación de datos multimensuales

Se refiere al análisis mes a mes de cada uno de los datos estimados por el satélite CHIRPS; es decir, por ejemplo, datos de sólo el mes de enero de la información observada con los datos de sólo el mes de enero de la información estimada por satélite CHIRPS.

Pues así se tiene para la estación Kayra.

**Tabla 80.** Precipitación mensual observada completada - estación Kayra.

N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30
2	1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60
3	1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20
4	1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80
5	1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40
6	1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70
7	1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60
8	1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70
9	1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.70	60.70	88.50
10	1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50
11	1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00
12	1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00
13	1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50
14	1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90
15	1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60
16	1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	58.40	49.00	133.20
17	1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40
18	1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90
19	1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50
20	2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00
21	2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40
22	2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40
23	2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80
24	2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90
25	2005	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50
26	2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20
27	2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	49.27	72.23	88.40
28	2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90
29	2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90
30	2010	268.50	168.50	129.20	16.60	1.30	0.00	1.40	4.70	8.20	70.00	40.00	172.70
31	2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20
32	2012	70.50	167.70	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50
33	2013	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40
34	2014	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	52.18	29.60	152.10
35	2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00
36	2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80
37	2017	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70

**Tabla 81.** Precipitación mensual estimada por satélite CHIRPS - estación Kayra.

N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1981	147.45	114.22	87.52	32.59	3.55	2.49	1.95	4.90	22.67	73.73	101.00	117.13
2	1982	145.11	101.41	117.73	22.80	3.38	3.20	2.25	4.61	13.40	37.02	104.17	51.89
3	1983	67.28	52.06	55.71	28.00	4.00	2.64	2.00	4.03	10.56	16.90	46.12	78.45
4	1984	182.70	179.73	73.68	46.70	5.89	3.35	3.39	5.73	9.55	48.26	78.42	74.16
5	1985	81.92	103.56	91.76	38.04	7.84	2.91	2.22	5.85	21.44	54.59	103.74	103.08
6	1986	96.25	88.87	84.93	43.13	3.99	2.39	1.92	5.58	10.38	21.97	39.63	56.74
7	1987	147.76	82.60	53.02	15.30	6.98	3.31	2.63	2.80	7.67	21.09	85.87	86.42
8	1988	103.59	91.15	124.77	36.09	3.77	2.15	1.37	2.71	10.40	18.26	38.48	94.76
9	1989	121.78	96.81	86.94	22.74	4.15	2.54	2.38	4.70	7.72	33.79	55.88	61.57
10	1990	92.33	69.82	52.28	38.42	4.00	5.26	1.75	3.71	12.70	55.33	97.06	87.97
11	1991	60.15	119.47	78.26	25.21	6.66	4.20	1.37	3.01	9.23	32.93	51.63	74.48
12	1992	94.80	76.24	47.02	25.92	2.74	4.94	1.67	8.17	6.88	38.23	66.46	67.91
13	1993	140.35	109.42	54.61	33.40	3.15	2.58	2.06	5.96	10.55	46.93	106.91	146.12
14	1994	145.28	132.01	119.29	38.95	5.64	2.34	2.21	2.94	14.63	50.95	46.27	129.55
15	1995	101.42	55.82	109.05	12.09	3.66	2.64	2.18	3.52	17.51	29.22	49.39	81.06
16	1996	142.86	102.79	65.16	39.52	6.04	2.19	1.48	6.19	8.03	44.10	54.64	125.98
17	1997	122.30	124.84	93.69	14.96	4.05	2.11	1.42	5.36	8.27	31.03	103.93	117.03
18	1998	70.56	102.36	60.41	10.26	2.51	2.76	1.47	3.17	8.78	31.82	66.48	75.65
19	1999	113.87	105.62	87.44	43.49	5.20	2.47	1.74	3.93	25.30	33.77	54.95	125.46
20	2000	137.97	112.97	101.82	23.01	3.78	3.65	1.90	4.46	12.43	53.45	41.94	92.75
21	2001	214.15	146.08	150.43	31.67	9.78	2.33	5.33	9.12	13.22	76.81	91.82	91.62
22	2002	107.28	187.99	109.22	41.84	4.40	3.17	5.17	4.67	16.73	61.71	87.37	135.09
23	2003	150.03	151.93	120.21	43.45	4.75	3.29	1.53	8.45	10.47	35.49	41.37	117.90
24	2004	156.26	106.29	81.29	26.08	3.68	5.15	5.37	7.57	16.54	38.84	67.83	102.81
25	2005	96.76	106.62	83.61	33.86	3.88	2.11	1.65	4.23	8.78	31.58	56.02	85.73
26	2006	164.88	123.59	99.79	46.74	2.74	4.54	2.43	5.81	9.81	62.35	84.03	127.46
27	2007	107.92	108.25	130.42	45.47	6.18	2.13	3.26	3.43	8.44	50.12	71.44	107.29
28	2008	140.75	141.85	71.98	21.84	5.22	4.62	1.65	4.80	15.38	57.52	67.22	139.25
29	2009	119.80	111.89	81.09	21.08	3.31	2.11	2.29	3.52	12.38	29.90	130.23	107.92
30	2010	233.76	121.97	124.93	16.40	4.01	2.62	2.03	4.28	12.99	67.97	44.21	182.11
31	2011	126.68	186.18	125.82	49.57	5.93	2.40	1.94	4.30	24.36	45.02	81.69	119.72
32	2012	116.19	156.32	122.14	53.62	4.21	2.92	1.99	3.12	28.31	25.84	110.45	185.10
33	2013	148.94	127.73	116.82	13.86	8.40	4.39	2.43	7.46	16.83	98.30	82.83	160.68
34	2014	166.48	124.91	72.62	41.44	9.93	2.76	2.35	5.85	22.22	62.26	34.74	118.05
35	2015	125.22	143.99	93.00	46.08	11.91	4.36	3.97	6.25	16.83	24.86	46.46	137.01
36	2016	97.05	97.04	100.09	41.37	7.53	2.83	4.37	20.30	30.32	75.41	30.91	133.96
37	2017	120.56	127.24	137.98	44.61	13.72	2.77	3.25	6.44	22.68	69.85	112.31	148.74

**Tabla 82.** Promedio y desviación estándar multimensual precipitación mensual observada – Estación Kayra.

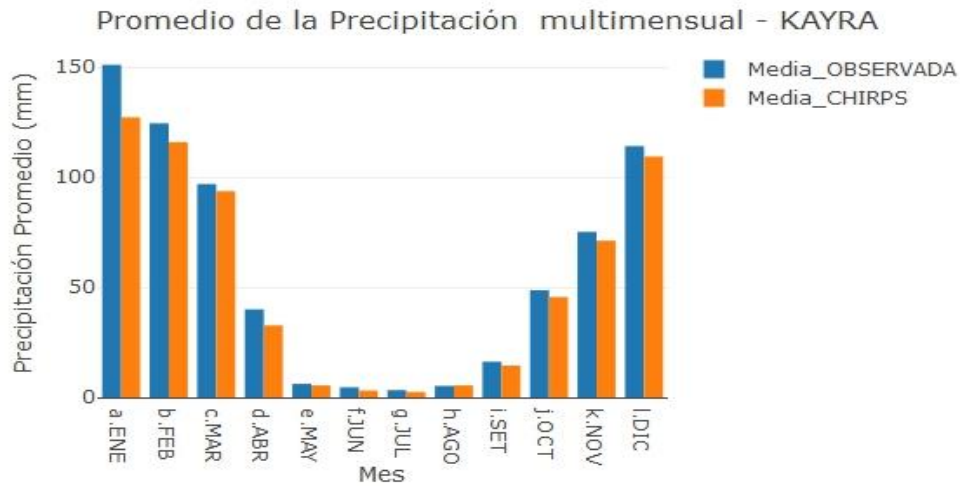
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>PROMEDIO</b>	151.10	124.52	96.92	39.98	6.10	4.54	3.26	5.19	16.19	48.67	75.18	114.16
<b>DESV. EST.</b>	46.97	32.65	37.72	23.64	5.94	6.79	5.86	5.43	11.81	25.44	37.01	32.73



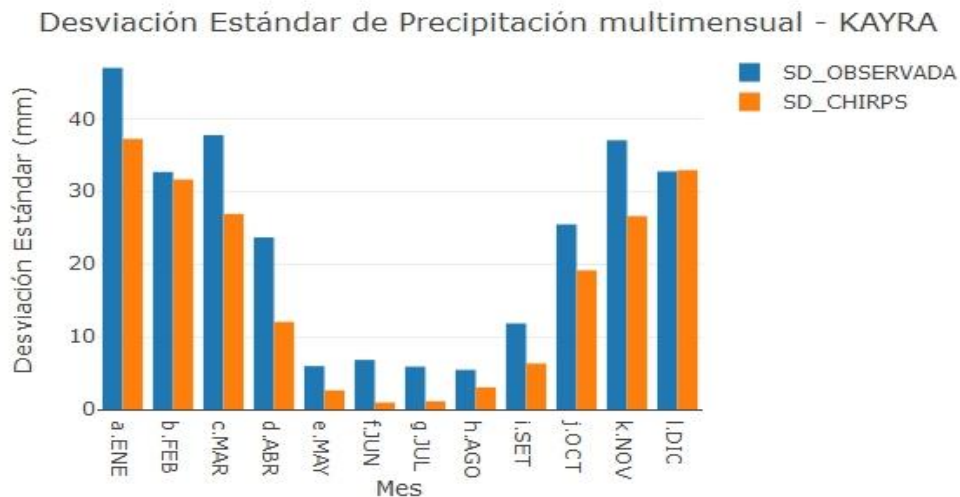
Del la **Figura 91**, se puede indicar que el producto CHIRPS conserva las características de la precipitación como la media, la desviación estándar y la estacionalidad.

**Tabla 83.** Promedio y desviación estándar multimensual precipitación mensual estimada por satélite CHIRPS – Estación Kayra.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>PROMEDIO</b>	127.26	115.99	93.69	32.69	5.421	3.1	2.44	5.432	14.44	45.6	71.19	109.42
<b>DESV. EST.</b>	37.21	31.621	26.88	12.04	2.601	0.94	1.1	3.009	6.307	19.12	26.57	32.91



**Figura 91.** Comparativo Precipitación promedio multimensual de la Precipitación mensual observada y estimada por satélite CHIRPS – Estación Kayra.



**Figura 92.** Comparativo de la desviación estándar multimensual de la Precipitación mensual observada y estimada por satélite CHIRPS – Estación Kayra.

El detalle de cada una de las estaciones se encuentra en el anexo A.3.1.

3.6.3.4.1. Estadísticas de comparación por pares precipitación multimensual

a. Estadísticos para la estación Estación Kayra

Tabla 84. Resumen de indicadores de comparación multimensual – estación Kayra.

INDICADOR	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
MAE	33.441	22.426	23.939	14.237	3.414	3.734	2.733	3.366	7.767	13.012	17.222	20.288
RMSE	39.095	27.538	30.267	20.459	4.722	6.245	4.984	5.215	10.273	18.312	25.258	24.557
PBIAS %	-15.8	-6.9	-3.3	-18.2	-11.2	-31.7	-25.1	4.7	-10.8	-6.3	-5.3	-4.2
NSE	0.288	0.269	0.338	0.23	0.35	0.13	0.257	0.051	0.223	0.468	0.521	0.421
r	0.745	0.659	0.599	0.577	0.634	0.703	0.833	0.325	0.497	0.697	0.73	0.723

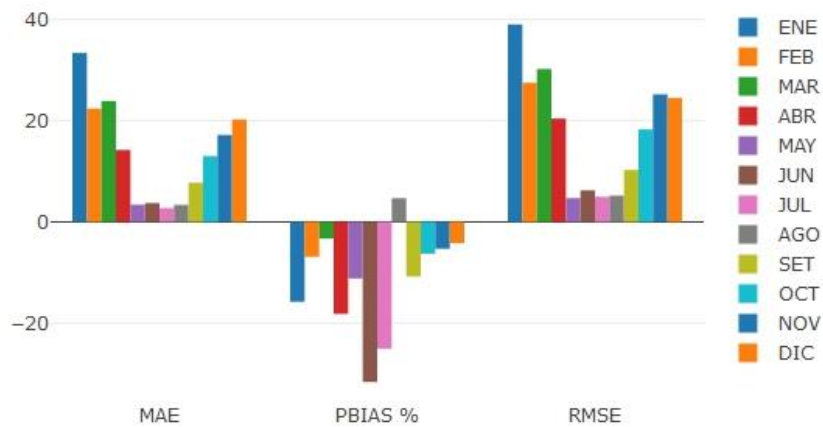


Figura 93. Comparativo de indicadores multimensuales estación Kayra, Parte 1

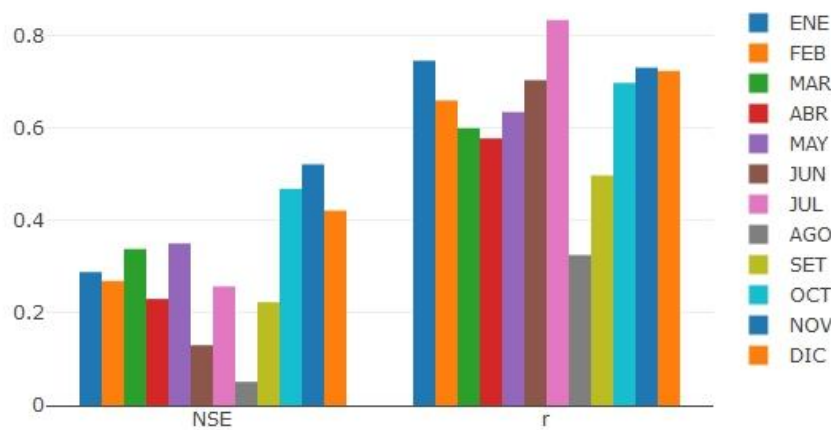
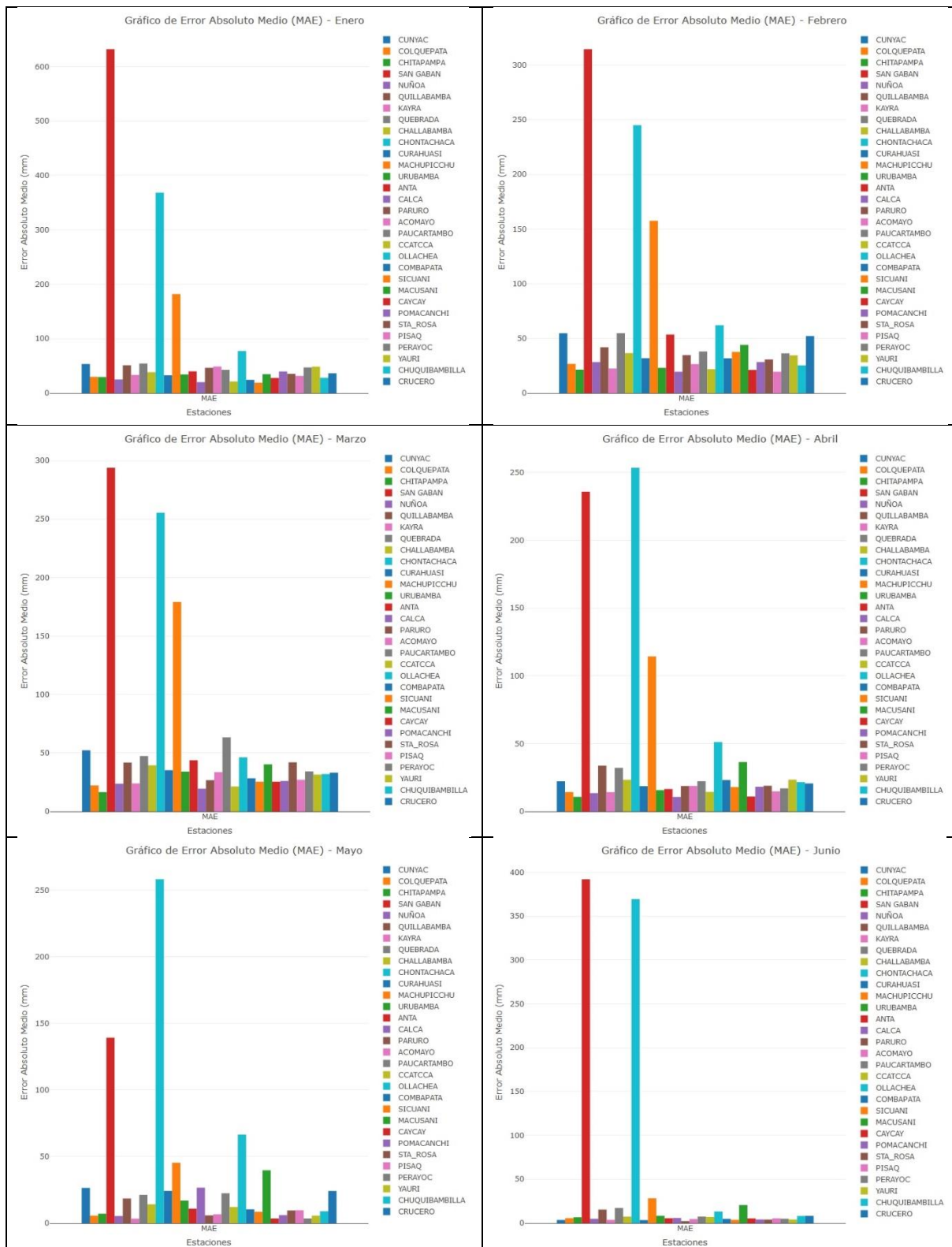


Figura 94. Comparativo de indicadores multimensuales estación Kayra, Parte 2.

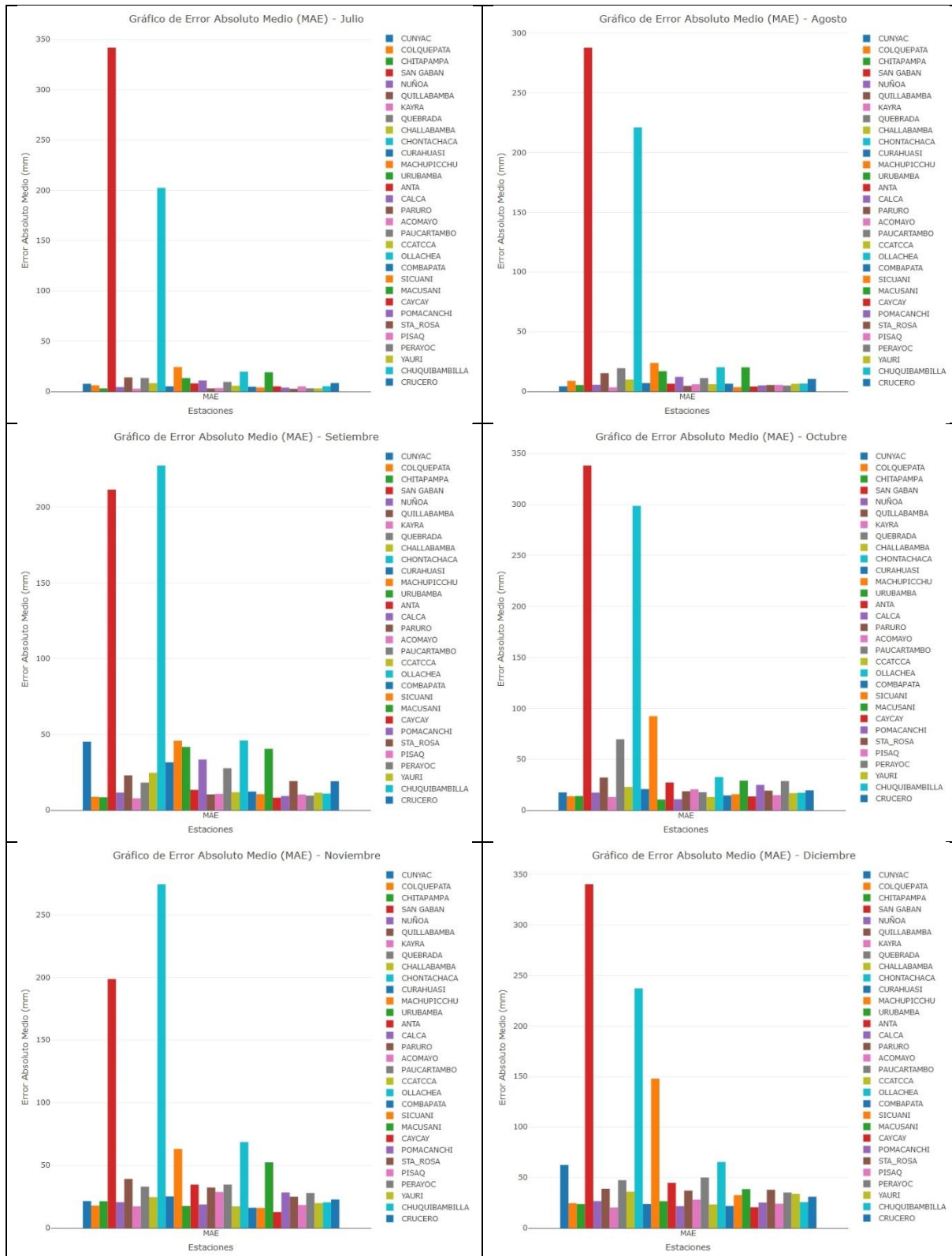
b. Estadísticos para todas las estaciones según el mes.

Según la *Figura 95* en general se tiene: MAE<100 mm para enero, MAE<50 mm para febrero, MAE<50 mm para marzo, MAE<40 mm para abril, MAE<40 mm para mayo y MAE<30 mm para junio, excepto las estaciones de San Gaban y Chotachaca.



**Figura 95.** Error absoluto medio (MAE) de la precipitación multimensual enero a junio .

Según la **Figura 96** en general se tiene: MAE<25 mm para julio, MAE<25 mm para agosto, MAE<50 mm para setiembre, MAE<100 mm para octubre, MAE<70 mm para noviembre y MAE<150 mm para diciembre; excepto las estaciones de San Gaban y Chotachaca.



**Figura 96.** Error absoluto medio (MAE) de la precipitación multimensual julio a diciembre.

En los meses de enero, febrero y marzo se observa  $-10 < \text{sesgo} < 10$ , lo que considera como muy bueno en la mayoría de las estaciones. En abril se observa entre muy bueno y bueno. En los meses de mayo y junio el 50% se muestra como muy bueno y el resto como insatisfactorio.

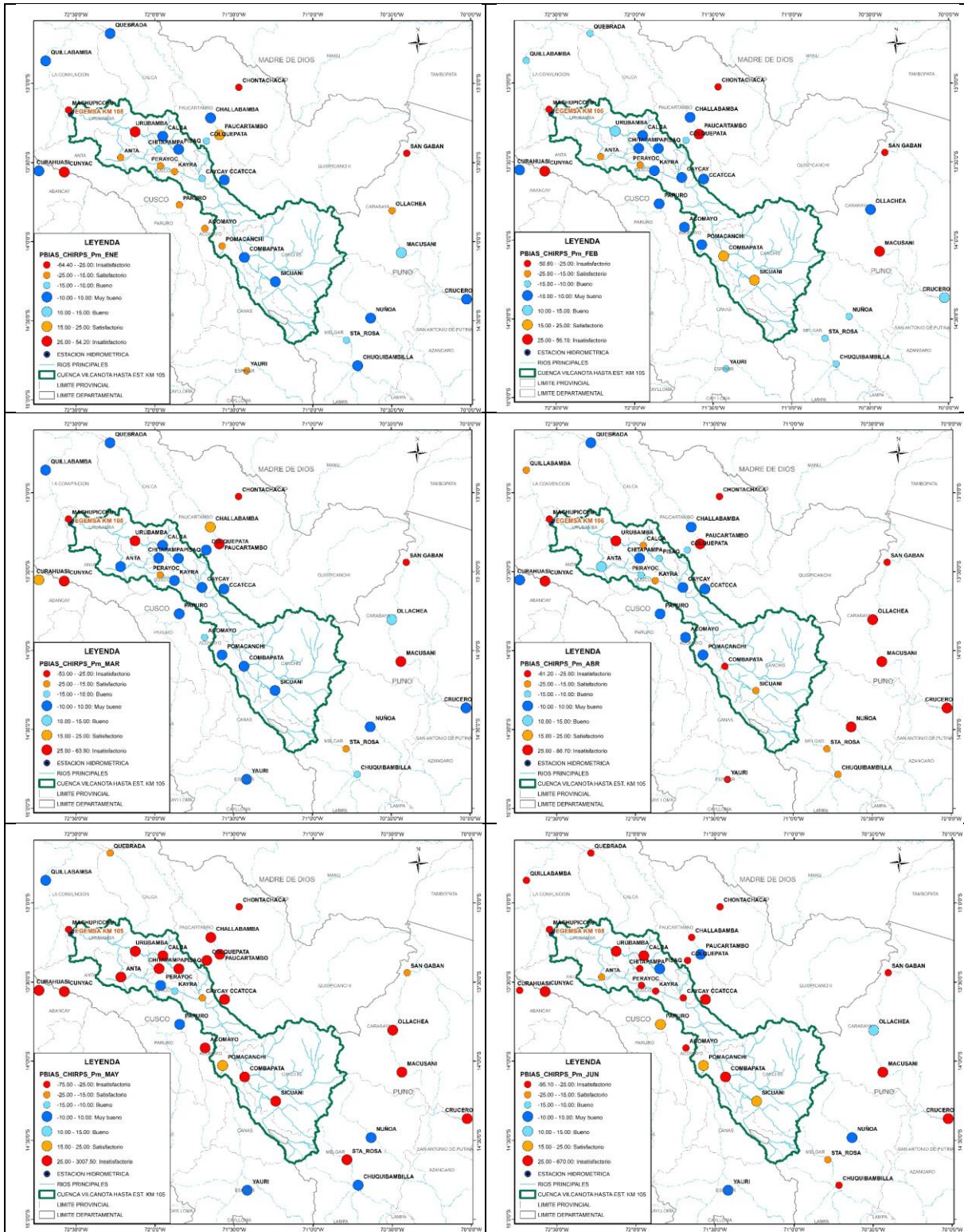


Figura 97. Porcentaje de sesgo (PBIAS) de la precipitación multimensual enero a junio.

En los meses de julio, agosto y setiembre mas del 50% se muestra como insatisfactorio las cuales se subetiman la precipitación mensual. En el mes de octubre, noviembre y diciembre se observa  $-10 < \text{sesgo} < 10$ , lo que considera como muy bueno en el 50% de estaciones.

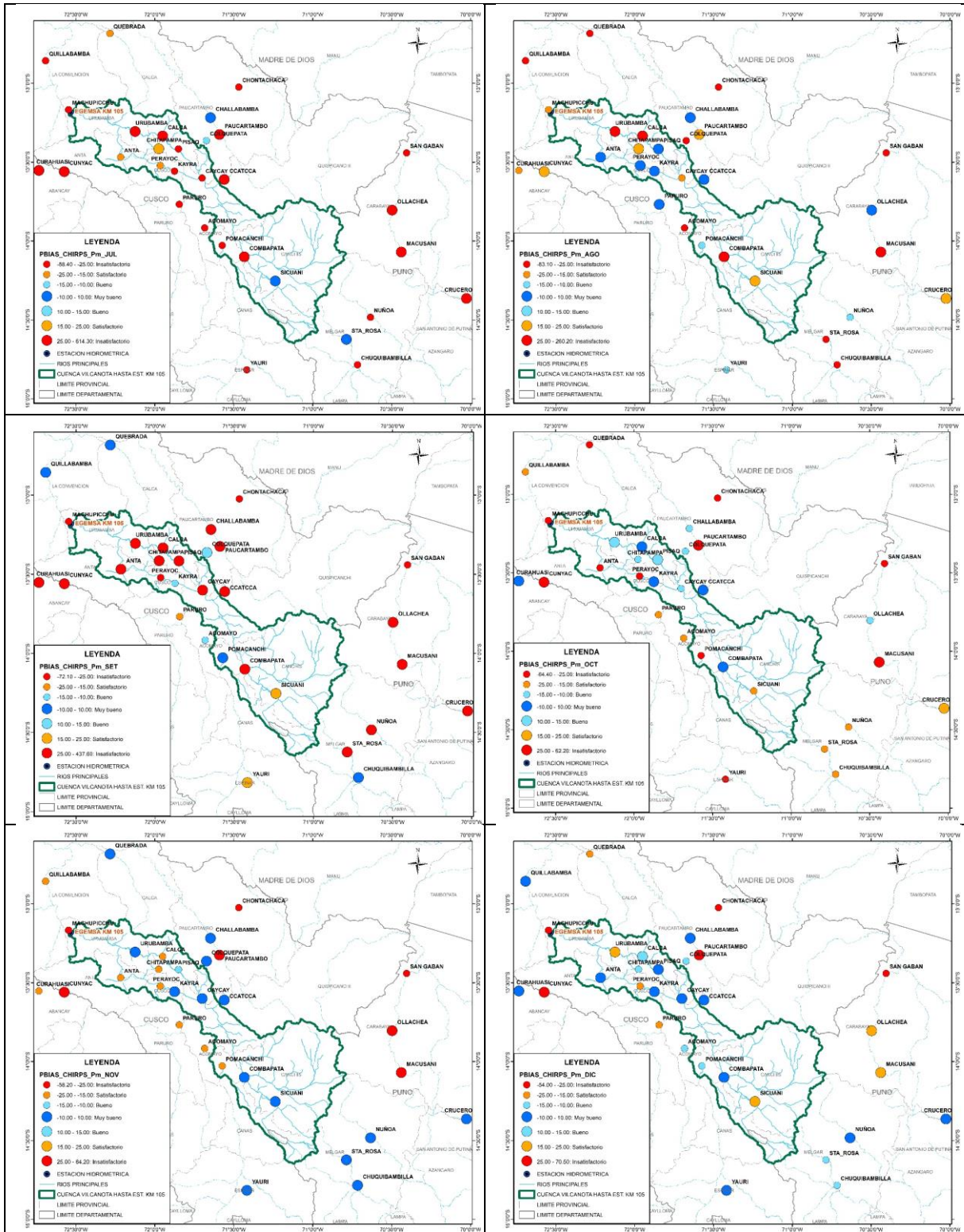
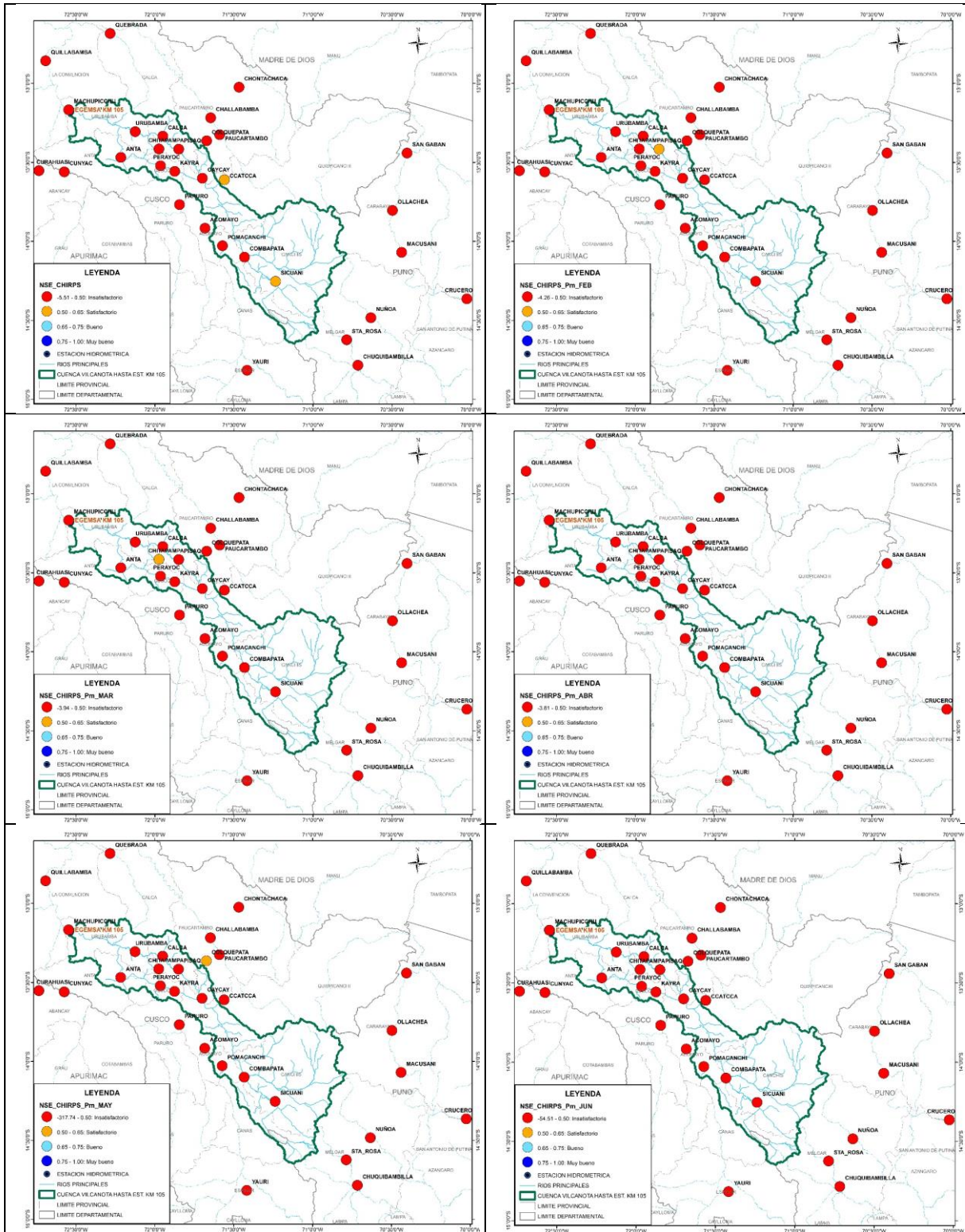


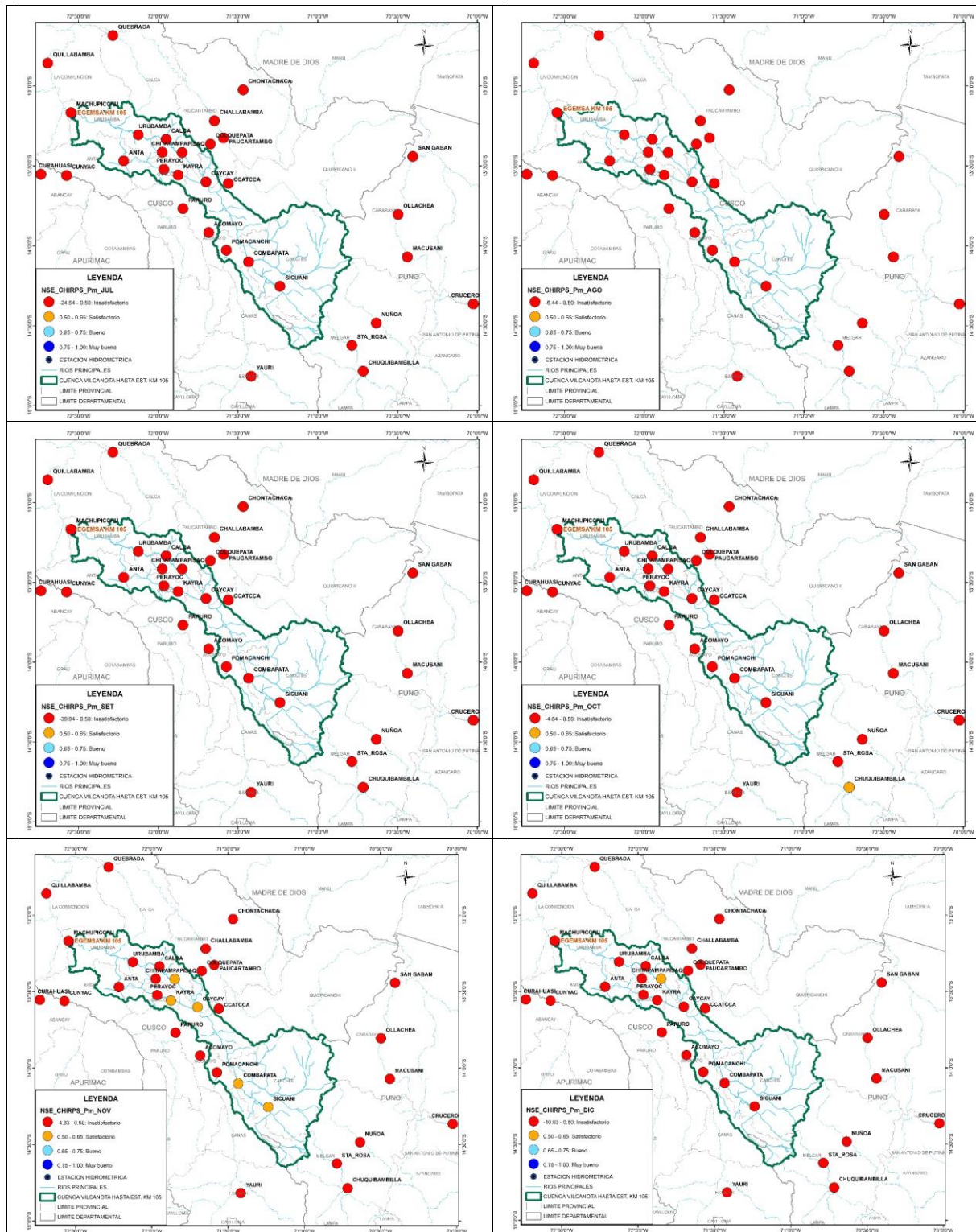
Figura 98. Porcentaje de sesgo (PBIAS) de la precipitación multimensual julio a diciembre.

En la **Figura 99**, se muestra en los meses de enero, febrero y marzo abril, mayo y junio en su mayoría muestra la eficiencia como insatisfactorio en su mayoría.



**Figura 99.** Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación multimensual enero a junio.

De acuerdo a la **Figura 100**, que muestra que, en los meses de julio, agosto y setiembre, octubre, noviembre como insatisfactorio.



**Figura 100.** Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación multimensual julio a diciembre.

La correlación mostrada en la **Figura 101**, indica que, en los meses de enero, febrero, marzo, abril mayo y junio la correlación se muestra entre mala y regular.



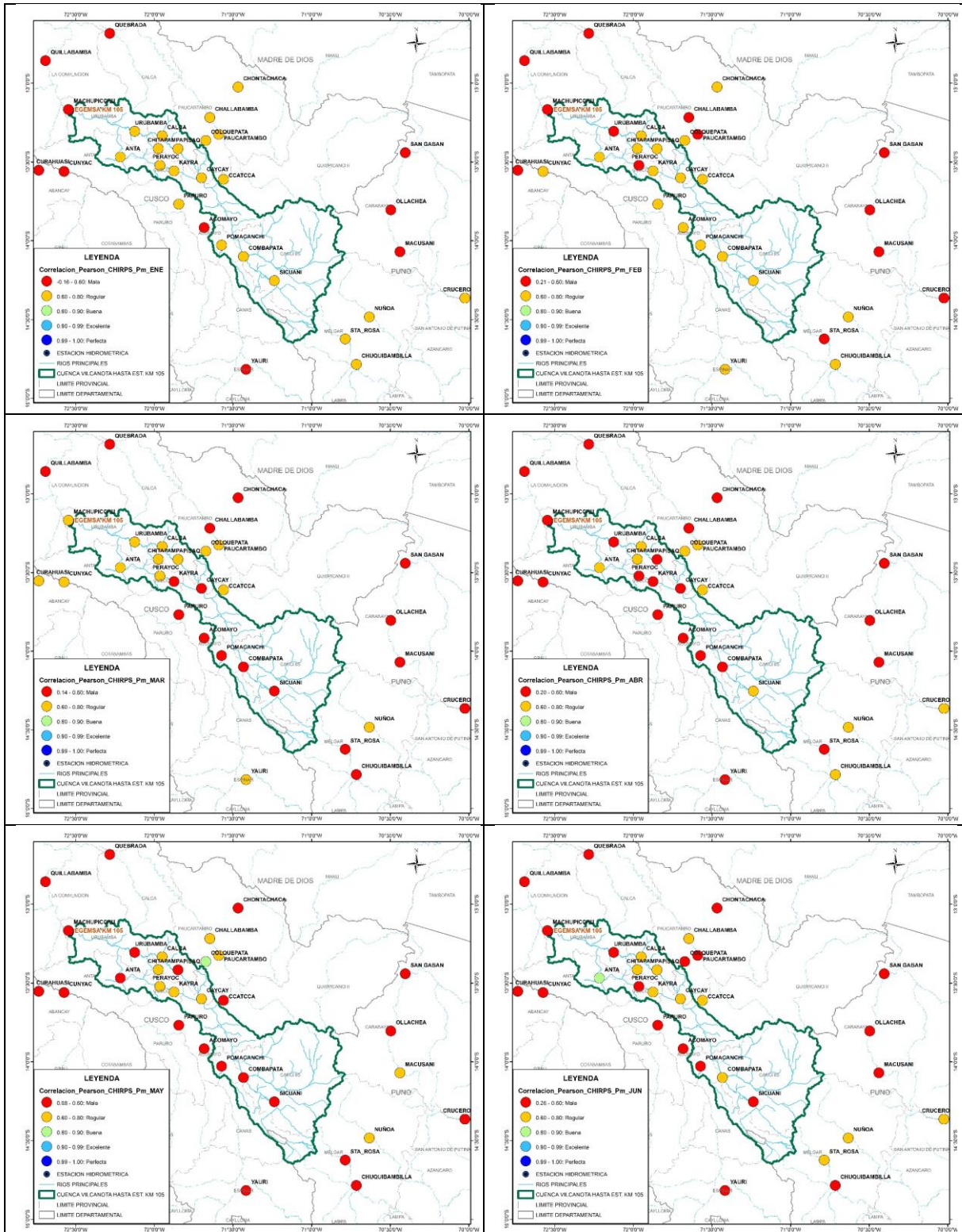


Figura 101. Correlación Pearson (r) de la precipitación multimensual enero a junio.

Según la *Figura 102*, en los meses de julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre en su mayoría se tienen correlaciones malas a regulares en su mayoría.

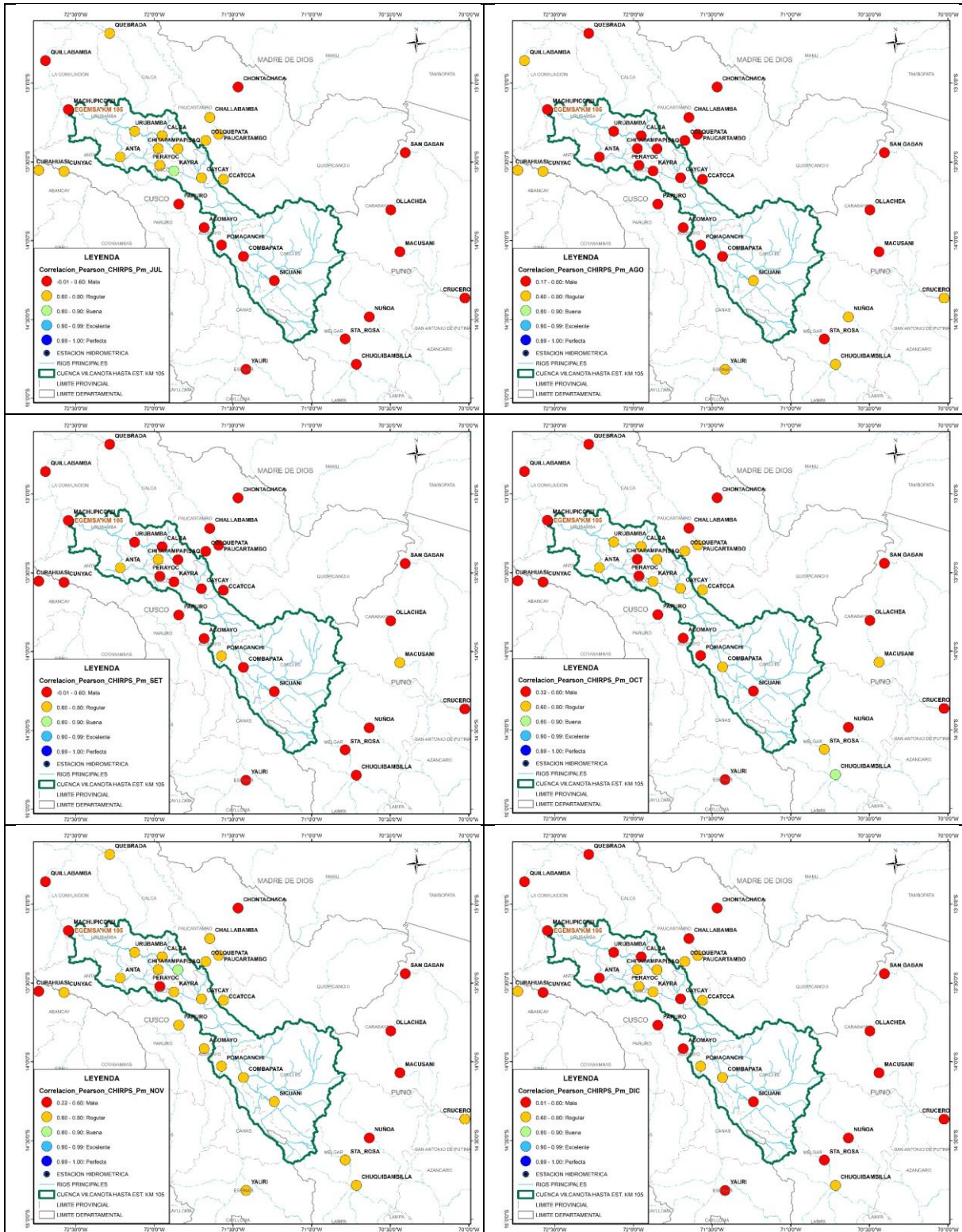


Figura 102. Correlación Pearson (r) de la precipitación multimensual julio a diciembre.

### 3.6.4. Precipitación Estacional

Así como en la investigación de Díaz (2013), se considera agrupar las precipitaciones mensuales en estaciones como sigue:

- Primavera. Setiembre, Octubre y Noviembre (SON).
- Verano. Diciembre, Enero y Febrero (DEF).
- Otoño. Marzo, Abril y Mayo (MAM).
- Invierno. Junio, Julio y Agosto (JJA).

Pues así se tiene para la estación Kayra.

**Tabla 85.** Precipitación mensual estacional observada completada - estación Kayra.

N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30
2	1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60
3	1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20
4	1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80
5	1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40
6	1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70
7	1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60
8	1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70
9	1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.70	60.70	88.50
10	1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50
11	1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00
12	1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00
13	1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50
14	1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90
15	1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60
16	1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	58.40	49.00	133.20
17	1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40
18	1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90
19	1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50
20	2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00
21	2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40
22	2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40
23	2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80
24	2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90
25	2005	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50
26	2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20
27	2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	49.27	72.23	88.40
28	2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90
29	2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90
30	2010	268.50	168.50	129.20	16.60	1.30	0.00	1.40	4.70	8.20	70.00	40.00	172.70
31	2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20
32	2012	70.50	167.70	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50
33	2013	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40
34	2014	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	52.18	29.60	152.10
35	2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00
36	2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80
37	2017	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70

**Tabla 86.** Precipitación mensual estimada por satélite CHIRPS - estación Kayra.

N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1981	147.45	114.22	87.52	32.59	3.55	2.49	1.95	4.90	22.67	73.73	101.00	117.13
2	1982	145.11	101.41	117.73	22.80	3.38	3.20	2.25	4.61	13.40	37.02	104.17	51.89
3	1983	67.28	52.06	55.71	28.00	4.00	2.64	2.00	4.03	10.56	16.90	46.12	78.45
4	1984	182.70	179.73	73.68	46.70	5.89	3.35	3.39	5.73	9.55	48.26	78.42	74.16
5	1985	81.92	103.56	91.76	38.04	7.84	2.91	2.22	5.85	21.44	54.59	103.74	103.08
6	1986	96.25	88.87	84.93	43.13	3.99	2.39	1.92	5.58	10.38	21.97	39.63	56.74
7	1987	147.76	82.60	53.02	15.30	6.98	3.31	2.63	2.80	7.67	21.09	85.87	86.42
8	1988	103.59	91.15	124.77	36.09	3.77	2.15	1.37	2.71	10.40	18.26	38.48	94.76
9	1989	121.78	96.81	86.94	22.74	4.15	2.54	2.38	4.70	7.72	33.79	55.88	61.57
10	1990	92.33	69.82	52.28	38.42	4.00	5.26	1.75	3.71	12.70	55.33	97.06	87.97
11	1991	60.15	119.47	78.26	25.21	6.66	4.20	1.37	3.01	9.23	32.93	51.63	74.48
12	1992	94.80	76.24	47.02	25.92	2.74	4.94	1.67	8.17	6.88	38.23	66.46	67.91
13	1993	140.35	109.42	54.61	33.40	3.15	2.58	2.06	5.96	10.55	46.93	106.91	146.12
14	1994	145.28	132.01	119.29	38.95	5.64	2.34	2.21	2.94	14.63	50.95	46.27	129.55
15	1995	101.42	55.82	109.05	12.09	3.66	2.64	2.18	3.52	17.51	29.22	49.39	81.06
16	1996	142.86	102.79	65.16	39.52	6.04	2.19	1.48	6.19	8.03	44.10	54.64	125.98
17	1997	122.30	124.84	93.69	14.96	4.05	2.11	1.42	5.36	8.27	31.03	103.93	117.03
18	1998	70.56	102.36	60.41	10.26	2.51	2.76	1.47	3.17	8.78	31.82	66.48	75.65
19	1999	113.87	105.62	87.44	43.49	5.20	2.47	1.74	3.93	25.30	33.77	54.95	125.46
20	2000	137.97	112.97	101.82	23.01	3.78	3.65	1.90	4.46	12.43	53.45	41.94	92.75
21	2001	214.15	146.08	150.43	31.67	9.78	2.33	5.33	9.12	13.22	76.81	91.82	91.62
22	2002	107.28	187.99	109.22	41.84	4.40	3.17	5.17	4.67	16.73	61.71	87.37	135.09
23	2003	150.03	151.93	120.21	43.45	4.75	3.29	1.53	8.45	10.47	35.49	41.37	117.90
24	2004	156.26	106.29	81.29	26.08	3.68	5.15	5.37	7.57	16.54	38.84	67.83	102.81
25	2005	96.76	106.62	83.61	33.86	3.88	2.11	1.65	4.23	8.78	31.58	56.02	85.73
26	2006	164.88	123.59	99.79	46.74	2.74	4.54	2.43	5.81	9.81	62.35	84.03	127.46
27	2007	107.92	108.25	130.42	45.47	6.18	2.13	3.26	3.43	8.44	50.12	71.44	107.29
28	2008	140.75	141.85	71.98	21.84	5.22	4.62	1.65	4.80	15.38	57.52	67.22	139.25
29	2009	119.80	111.89	81.09	21.08	3.31	2.11	2.29	3.52	12.38	29.90	130.23	107.92
30	2010	233.76	121.97	124.93	16.40	4.01	2.62	2.03	4.28	12.99	67.97	44.21	182.11
31	2011	126.68	186.18	125.82	49.57	5.93	2.40	1.94	4.30	24.36	45.02	81.69	119.72
32	2012	116.19	156.32	122.14	53.62	4.21	2.92	1.99	3.12	28.31	25.84	110.45	185.10
33	2013	148.94	127.73	116.82	13.86	8.40	4.39	2.43	7.46	16.83	98.30	82.83	160.68
34	2014	166.48	124.91	72.62	41.44	9.93	2.76	2.35	5.85	22.22	62.26	34.74	118.05
35	2015	125.22	143.99	93.00	46.08	11.91	4.36	3.97	6.25	16.83	24.86	46.46	137.01
36	2016	97.05	97.04	100.09	41.37	7.53	2.83	4.37	20.30	30.32	75.41	30.91	133.96
37	2017	120.56	127.24	137.98	44.61	13.72	2.77	3.25	6.44	22.68	69.85	112.31	148.74

Es así que se reordena las precipitaciones mensuales según el año hidrológico que comprende desde el mes de setiembre del año anterior hasta el mes de agosto del año actual.

**Tabla 87.** Precipitación mensual observada completada según año hidrológico- estación Kayra.

N	Año	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	1982	45.90	108.90	120.80	144.30	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90
2	1983	14.00	37.90	122.50	98.60	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90
3	1984	5.50	26.00	44.30	100.20	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40
4	1985	4.20	114.60	69.40	102.80	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00
5	1986	43.30	62.10	116.50	122.40	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20
6	1987	7.50	17.30	69.60	102.70	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00
7	1988	8.20	26.50	101.80	107.60	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00
8	1989	9.90	36.20	47.60	103.70	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10
9	1990	30.70	48.70	60.70	88.50	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80
10	1991	13.30	73.70	86.90	66.50	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00
11	1992	21.40	49.30	83.60	99.00	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40
12	1993	8.00	50.70	117.40	57.00	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90
13	1994	18.00	46.20	111.90	201.50	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00
14	1995	25.70	40.20	40.50	119.90	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20
15	1996	28.80	26.70	70.20	102.60	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30
16	1997	19.60	58.40	49.00	133.20	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10
17	1998	12.30	44.40	201.50	148.40	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60
18	1999	4.30	49.80	49.70	58.90	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00
19	2000	43.10	18.80	39.70	119.50	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50
20	2001	10.70	49.30	29.30	82.00	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20
21	2002	20.60	38.30	96.80	89.40	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70
22	2003	10.30	78.70	97.80	132.40	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30
23	2004	3.70	34.60	23.10	123.80	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00
24	2005	21.70	25.60	60.90	87.90	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00
25	2006	4.50	39.10	59.30	102.50	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50
26	2007	7.50	72.50	67.80	147.20	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00
27	2008	1.00	49.27	72.23	88.40	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90
28	2009	13.90	51.70	90.20	131.90	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70
29	2010	15.10	8.30	88.70	82.90	268.50	168.50	129.20	16.60	1.30	0.00	1.40	4.70
30	2011	8.20	70.00	40.00	172.70	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00
31	2012	38.90	38.20	60.20	110.20	70.50	167.70	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10
32	2013	18.40	19.50	138.20	179.50	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40
33	2014	6.30	105.00	86.00	159.40	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80
34	2015	12.60	52.18	29.60	152.10	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60
35	2016	16.10	19.10	48.60	113.00	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50
36	2017	7.00	79.50	28.00	89.80	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40

**Tabla 88.** Precipitación mensual estimada por satélite CHIRPS según año hidrológico - estación Kayra.

N	Año	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
1	1982	22.67	73.73	101.00	117.13	145.11	101.41	117.73	22.80	3.38	3.20	2.25	4.61
2	1983	13.40	37.02	104.17	51.89	67.28	52.06	55.71	28.00	4.00	2.64	2.00	4.03
3	1984	10.56	16.90	46.12	78.45	182.70	179.73	73.68	46.70	5.89	3.35	3.39	5.73
4	1985	9.55	48.26	78.42	74.16	81.92	103.56	91.76	38.04	7.84	2.91	2.22	5.85
5	1986	21.44	54.59	103.74	103.08	96.25	88.87	84.93	43.13	3.99	2.39	1.92	5.58
6	1987	10.38	21.97	39.63	56.74	147.76	82.60	53.02	15.30	6.98	3.31	2.63	2.80
7	1988	7.67	21.09	85.87	86.42	103.59	91.15	124.77	36.09	3.77	2.15	1.37	2.71
8	1989	10.40	18.26	38.48	94.76	121.78	96.81	86.94	22.74	4.15	2.54	2.38	4.70
9	1990	7.72	33.79	55.88	61.57	92.33	69.82	52.28	38.42	4.00	5.26	1.75	3.71
10	1991	12.70	55.33	97.06	87.97	60.15	119.47	78.26	25.21	6.66	4.20	1.37	3.01
11	1992	9.23	32.93	51.63	74.48	94.80	76.24	47.02	25.92	2.74	4.94	1.67	8.17
12	1993	6.88	38.23	66.46	67.91	140.35	109.42	54.61	33.40	3.15	2.58	2.06	5.96
13	1994	10.55	46.93	106.91	146.12	145.28	132.01	119.29	38.95	5.64	2.34	2.21	2.94
14	1995	14.63	50.95	46.27	129.55	101.42	55.82	109.05	12.09	3.66	2.64	2.18	3.52
15	1996	17.51	29.22	49.39	81.06	142.86	102.79	65.16	39.52	6.04	2.19	1.48	6.19
16	1997	8.03	44.10	54.64	125.98	122.30	124.84	93.69	14.96	4.05	2.11	1.42	5.36
17	1998	8.27	31.03	103.93	117.03	70.56	102.36	60.41	10.26	2.51	2.76	1.47	3.17
18	1999	8.78	31.82	66.48	75.65	113.87	105.62	87.44	43.49	5.20	2.47	1.74	3.93
19	2000	25.30	33.77	54.95	125.46	137.97	112.97	101.82	23.01	3.78	3.65	1.90	4.46
20	2001	12.43	53.45	41.94	92.75	214.15	146.08	150.43	31.67	9.78	2.33	5.33	9.12
21	2002	13.22	76.81	91.82	91.62	107.28	187.99	109.22	41.84	4.40	3.17	5.17	4.67
22	2003	16.73	61.71	87.37	135.09	150.03	151.93	120.21	43.45	4.75	3.29	1.53	8.45
23	2004	10.47	35.49	41.37	117.90	156.26	106.29	81.29	26.08	3.68	5.15	5.37	7.57
24	2005	16.54	38.84	67.83	102.81	96.76	106.62	83.61	33.86	3.88	2.11	1.65	4.23
25	2006	8.78	31.58	56.02	85.73	164.88	123.59	99.79	46.74	2.74	4.54	2.43	5.81
26	2007	9.81	62.35	84.03	127.46	107.92	108.25	130.42	45.47	6.18	2.13	3.26	3.43
27	2008	8.44	50.12	71.44	107.29	140.75	141.85	71.98	21.84	5.22	4.62	1.65	4.80
28	2009	15.38	57.52	67.22	139.25	119.80	111.89	81.09	21.08	3.31	2.11	2.29	3.52
29	2010	12.38	29.90	130.23	107.92	233.76	121.97	124.93	16.40	4.01	2.62	2.03	4.28
30	2011	12.99	67.97	44.21	182.11	126.68	186.18	125.82	49.57	5.93	2.40	1.94	4.30
31	2012	24.36	45.02	81.69	119.72	116.19	156.32	122.14	53.62	4.21	2.92	1.99	3.12
32	2013	28.31	25.84	110.45	185.10	148.94	127.73	116.82	13.86	8.40	4.39	2.43	7.46
33	2014	16.83	98.30	82.83	160.68	166.48	124.91	72.62	41.44	9.93	2.76	2.35	5.85
34	2015	22.22	62.26	34.74	118.05	125.22	143.99	93.00	46.08	11.91	4.36	3.97	6.25
35	2016	16.83	24.86	46.46	137.01	97.05	97.04	100.09	41.37	7.53	2.83	4.37	20.30
36	2017	30.32	75.41	30.91	133.96	120.56	127.24	137.98	44.61	13.72	2.77	3.25	6.44

Con lo que se obtiene los datos de precipitación mensual agrupado por estaciones según como se tiene.

**Tabla 89.** Precipitación estacional observada – Estación Kayra.

<b>N</b>	<b>Año</b>	<b>SON</b>	<b>DEF</b>	<b>MAM</b>	<b>JJA</b>
1	1982	275.60	438.70	201.90	17.50
2	1983	174.40	311.00	87.70	7.60
3	1984	75.80	441.20	153.80	14.70
4	1985	188.20	351.30	123.00	12.50
5	1986	221.90	291.00	197.40	6.00
6	1987	94.40	414.90	63.80	10.50
7	1988	136.50	355.70	280.00	0.00
8	1989	93.70	381.90	164.30	15.20
9	1990	140.10	336.50	115.10	37.60
10	1991	173.90	327.70	161.30	6.60
11	1992	154.30	315.50	118.90	40.80
12	1993	176.10	374.20	95.50	9.60
13	1994	176.10	542.40	231.20	0.00
14	1995	106.40	336.70	113.10	1.80
15	1996	125.70	332.50	113.80	6.30
16	1997	127.00	384.20	140.60	7.10
17	1998	258.20	420.90	55.20	3.50
18	1999	103.80	240.40	136.10	4.40
19	2000	101.60	454.20	133.00	13.00
20	2001	89.30	488.10	185.30	27.60
21	2002	155.70	408.50	150.50	33.30
22	2003	186.80	431.80	201.40	27.70
23	2004	61.40	423.30	89.90	46.50
24	2005	108.20	359.30	156.50	5.60
25	2006	102.90	461.40	187.00	15.40
26	2007	147.80	346.70	206.70	4.00
27	2008	122.51	306.40	80.70	6.00
28	2009	155.80	352.70	105.70	4.00
29	2010	112.10	519.90	147.10	6.10
30	2011	118.20	455.40	203.40	6.90
31	2012	137.30	348.40	94.30	1.30
32	2013	176.10	497.20	113.80	20.50
33	2014	197.30	437.80	81.60	9.00
34	2015	94.38	468.40	155.10	18.80
35	2016	83.80	370.10	81.70	5.00
36	2017	114.50	287.90	181.50	14.30

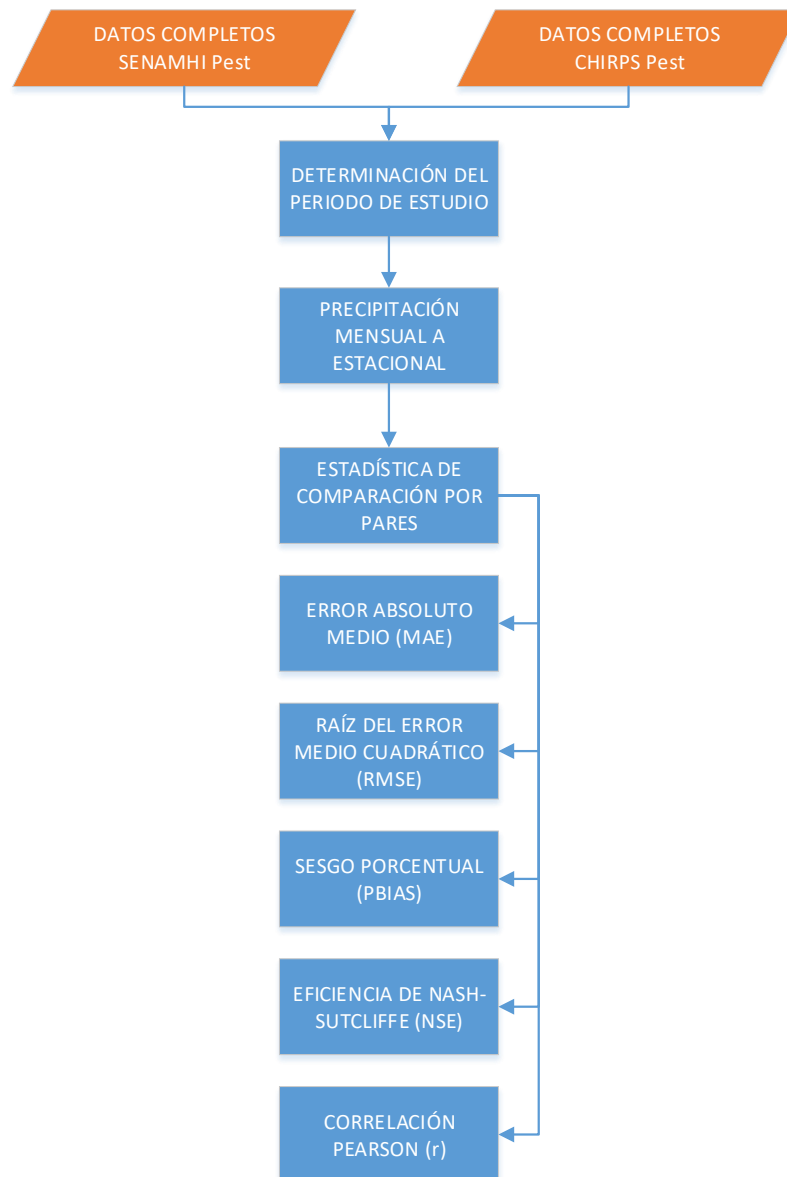
**Tabla 90.** Precipitación estacional Estimada por satélite CHIRPS – Estación Kayra.

<b>N</b>	<b>Año</b>	<b>SON</b>	<b>DEF</b>	<b>MAM</b>	<b>JJA</b>
1	1982	197.41	363.65	143.91	10.07
2	1983	154.58	171.24	87.71	8.67
3	1984	73.59	440.88	126.27	12.48
4	1985	136.23	259.64	137.65	10.98
5	1986	179.77	288.20	132.05	9.88
6	1987	71.98	287.11	75.30	8.74
7	1988	114.63	281.16	164.62	6.23
8	1989	67.13	313.35	113.82	9.62
9	1990	97.38	223.72	94.70	10.72
10	1991	165.09	267.59	110.14	8.58
11	1992	93.78	245.53	75.68	14.79
12	1993	111.57	317.68	91.17	10.60
13	1994	164.38	423.41	163.88	7.48
14	1995	111.84	286.79	124.80	8.35
15	1996	96.12	326.72	110.72	9.86
16	1997	106.78	373.13	112.70	8.90
17	1998	143.23	289.95	73.18	7.40
18	1999	107.08	295.13	136.14	8.14
19	2000	114.02	376.39	128.60	10.01
20	2001	107.82	452.98	191.89	16.78
21	2002	181.85	386.89	155.46	13.01
22	2003	165.81	437.05	168.41	13.27
23	2004	87.32	380.45	111.05	18.09
24	2005	123.22	306.18	121.35	7.98
25	2006	96.38	374.20	149.27	12.78
26	2007	156.19	343.63	182.07	8.82
27	2008	130.00	389.89	99.04	11.07
28	2009	140.11	370.94	105.48	7.92
29	2010	172.51	463.64	145.34	8.94
30	2011	125.17	494.98	181.32	8.65
31	2012	151.07	392.23	179.97	8.03
32	2013	164.59	461.77	139.08	14.28
33	2014	197.96	452.07	123.99	10.97
34	2015	119.22	387.27	150.98	14.58
35	2016	88.15	331.10	148.99	27.51
36	2017	136.64	381.75	196.31	12.46



### 3.6.4.1. Estadísticos de validación de datos estacionales

Se realiza el análisis comparativo entre las precipitaciones observadas y las estimadas por satélite CHIRPS.



**Figura 103.** Flujograma de la validación de los datos estacionales de manera general.

Entonces siguiendo el procedimiento de la validación, se establece como periodo de análisis desde el año 1981 hasta el 2017, periodo desde el cual está disponible la información estimada por satélite, acumulando a paso estacional.

Se realiza el procedimiento de cálculo para la estación Kayra.

### 3.6.4.1.1. Estadísticas de comparación por pares.

- Error absoluto medio

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Si - Oi|$$

n=444 ,

$$\sum_{i=1}^n |Si - Oi| = 4307.04$$

$$MAE = \frac{4307.04}{144}$$

$$MAE = 29.91 \text{ mm}$$

- Raíz del error medio cuadrático

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}$$

n=144 ,

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2 = 278582.46$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{278582.46}{144}}$$

$$RMSE = 43.984 \text{ mm}$$

- Sesgo porcentual

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)}{\sum_{i=1}^n Oi}$$

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi) = -2218.01$$

$$\sum_{i=1}^n (Oi) = 24656.58$$



$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{-2218.01}{24656.58}$$

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS == -9$$

- Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2}$$

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2 = 278582.46$$

$$\sum_{i=1}^n (Oi - \bar{O})^2 = 3036680.78$$

$$NSE = 1 - \frac{278582.46}{3036680.78}$$

$$NSE = 0.908$$

- Coeficiente de correlación de Pearson (r)

$$r_x = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$n=144$$

$$\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] = 2625596.35$$

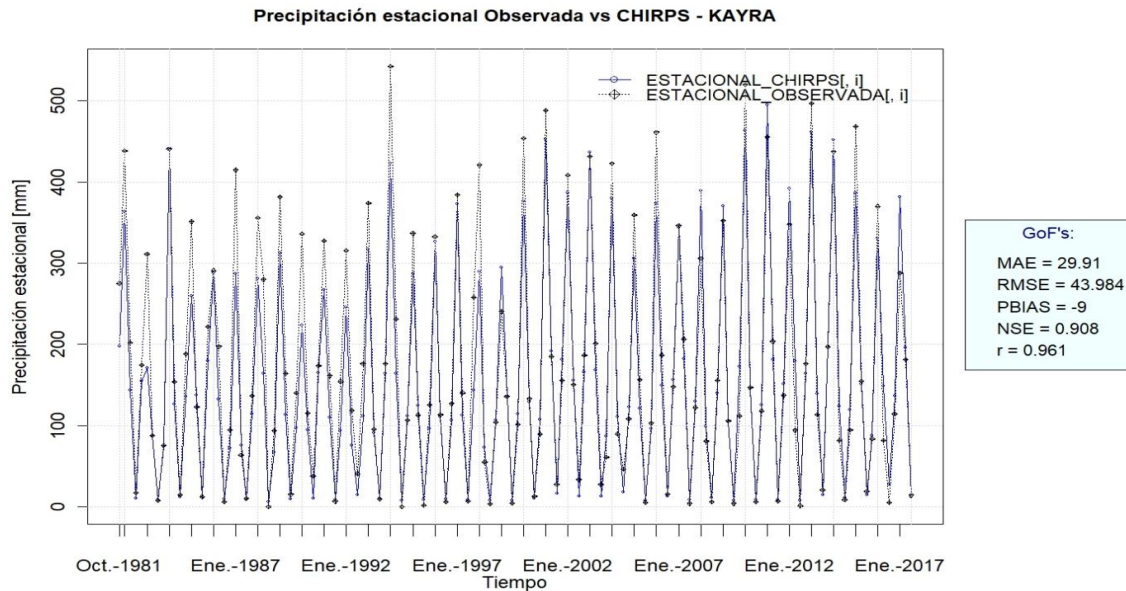
$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 3036680.78$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = 2458930.63$$

$$r_x = \frac{\frac{1}{144-1} 2625596.35}{\sqrt{\frac{1}{144-1} 3036680.78} * \sqrt{\frac{1}{144-1} 2458930.63}} = \frac{18360.814}{145.724 * 131.131}$$

$$r_x = 0.961$$

En la **Figura 104**, se puede observar la disposición de datos de precipitación estacional observados y estimados por satélite CHIRPS e indicadores estadísticos de comparación por pares. Estación Kayra.

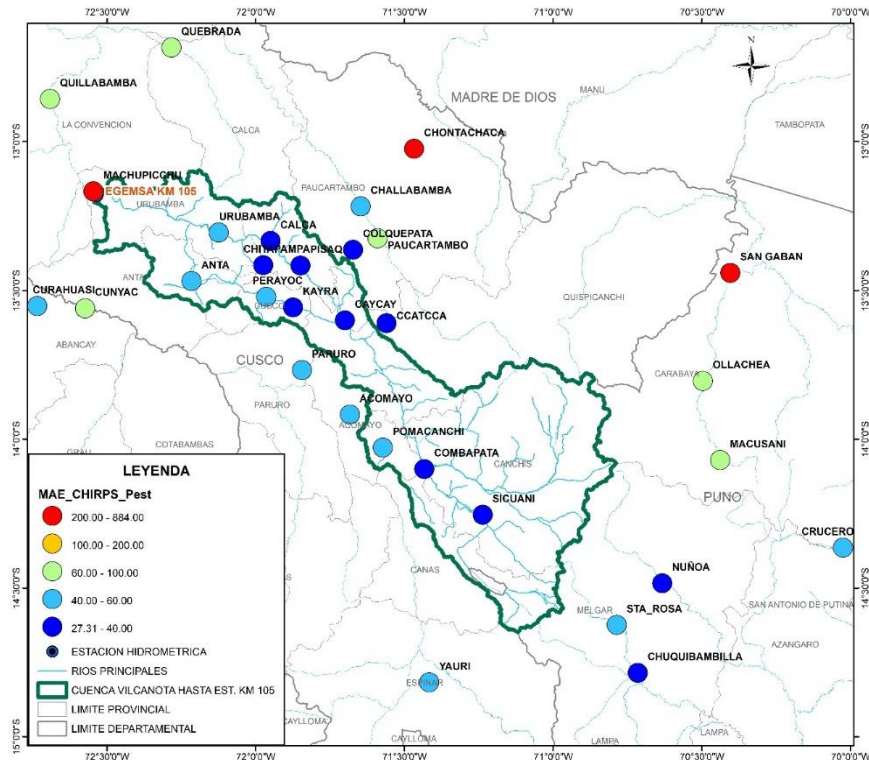


**Figura 104.** Serie de tiempo de la precipitación estacional de datos observados y estimados por satélite CHIRPS.

**Tabla 91.** Resumen de indicadores de la estadística de comparación por pares precipitación estacional.

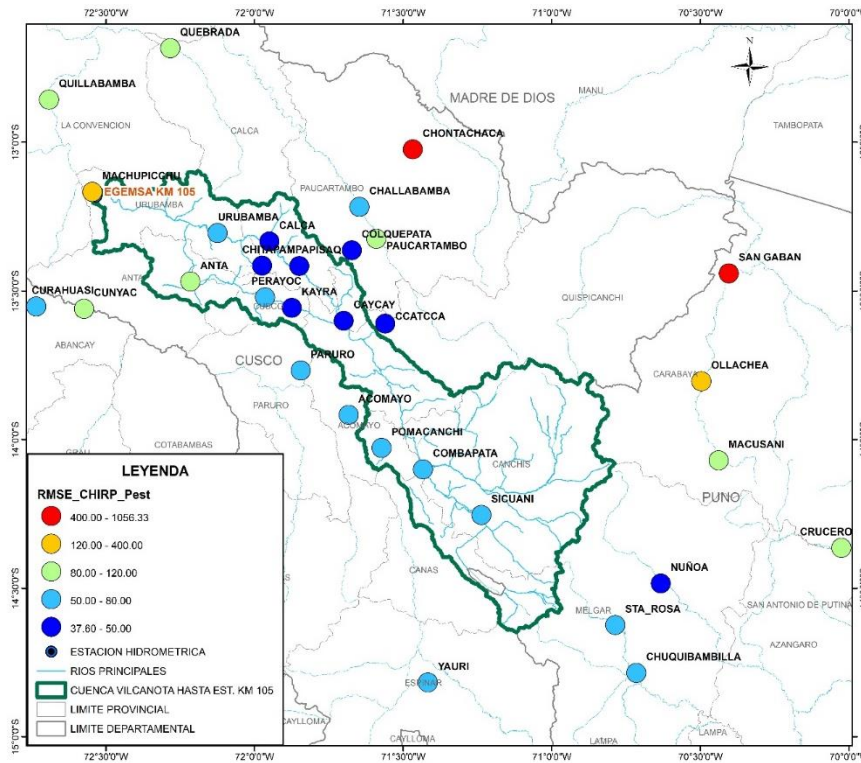
N	ESTACIONES	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	MAE_CHIRPS	RMSE_CHIRPS	PBIAS_CHIRPS	NSE_CHIRPS	Pearson_CHIRPS
1	CUNYAC	-72.5739	-13.5600	2345.00	89.563	117.163	67.800	-0.253	0.940
2	COLQUEPATA	-71.6731	-13.3631	3729.00	35.680	49.424	-10.500	0.873	0.945
3	CHITAPAMPA	-71.9747	-13.4150	4306.00	31.099	47.853	-9.800	0.886	0.952
4	SAN GABAN	-70.4049	-13.4408	635.00	884.001	1056.334	-48.100	-0.794	0.664
5	NUÑO A	-70.6336	-14.4836	4013.00	29.729	45.311	-1.600	0.896	0.947
6	QUILLABAMBA	-72.6917	-12.8564	990.00	72.055	101.230	-12.100	0.683	0.856
7	KAYRA	-71.8750	-13.5567	3219.00	29.910	43.984	-9.000	0.908	0.961
8	QUEBRADA	-72.2836	-12.6836	1050.00	81.081	104.577	-13.000	0.774	0.907
9	CHALLABAMBA	-71.6472	-13.2175	2740.00	49.261	69.355	3.500	0.831	0.917
10	CHONTACHACA	-71.4678	-13.0239	982.00	803.581	868.916	-60.400	-2.317	0.721
11	CURAHUASI	-72.7347	-13.5522	2763.00	45.142	64.155	6.900	0.823	0.912
12	MACHUPICCHU	-72.5459	-13.1669	2548.00	271.903	338.518	-51.000	-0.180	0.862
13	URUBAMBA	-72.1246	-13.3052	2850.00	54.973	66.715	38.200	0.622	0.932
14	ANTA	-72.2158	-13.4683	3340.00	56.397	92.336	-12.900	0.795	0.915
15	CALCA	-71.9503	-13.3336	2926.00	34.424	44.670	13.700	0.856	0.944
16	PARURO	-71.8447	-13.7675	3084.00	48.275	71.044	-14.300	0.839	0.936
17	ACOMAYO	-71.6836	-13.9169	3160.00	43.731	63.895	-10.700	0.849	0.931
18	PAUCARTAMBO	-71.5906	-13.3244	3042.00	76.722	104.307	44.900	0.280	0.915
19	CCATCCA	-71.5603	-13.6100	3729.00	27.314	37.602	1.500	0.920	0.959
20	OLLACHEA	-70.4971	-13.8039	2850.00	99.253	127.742	20.500	0.610	0.843
21	COMBAPATA	-71.4333	-14.1000	3464.00	34.320	57.405	-1.300	0.858	0.927
22	SICUANI	-71.2372	-14.2536	3574.00	36.027	52.902	8.000	0.860	0.955
23	MACUSANI	-70.4391	-14.0700	4345.00	91.476	109.690	54.400	0.296	0.879
24	CAYCAY	-71.7003	-13.6003	3150.00	28.991	41.225	-6.500	0.900	0.952
25	POMACANCHI	-71.5728	-14.0281	3200.00	41.147	58.935	-10.600	0.870	0.943
26	STA_ROSA	-70.7865	-14.6238	3986.00	47.030	68.636	-11.300	0.830	0.925
27	PISAQ	-71.8497	-13.4161	2950.00	29.296	44.075	-0.600	0.869	0.932
28	PERAYOC	-71.9647	-13.5211	3365.00	50.756	74.923	-21.000	0.801	0.942
29	YAURI	-71.4169	-14.8169	3927.00	43.209	68.312	-13.400	0.863	0.947
30	CHUQUIBAMBILLA	-70.7158	-14.7847	3971.00	35.468	52.055	-10.800	0.879	0.947
31	CRUCERO	-70.0259	-14.3642	4183.00	57.372	81.439	14.300	0.717	0.863

Las estaciones de Machupicchu, Chontachaca y San Gaban poseen MAE mayor a 200 mm, los cuales son los más altos, por otro lado, las estaciones: Calca, Chitapampa, Písaq, Colquepata, Caycay, Ccatcca, Combapata, Sicuani, Nuñoa, y Chuquibambilla manifiestan MAE menores a 40, siendo los valores mas bajos.



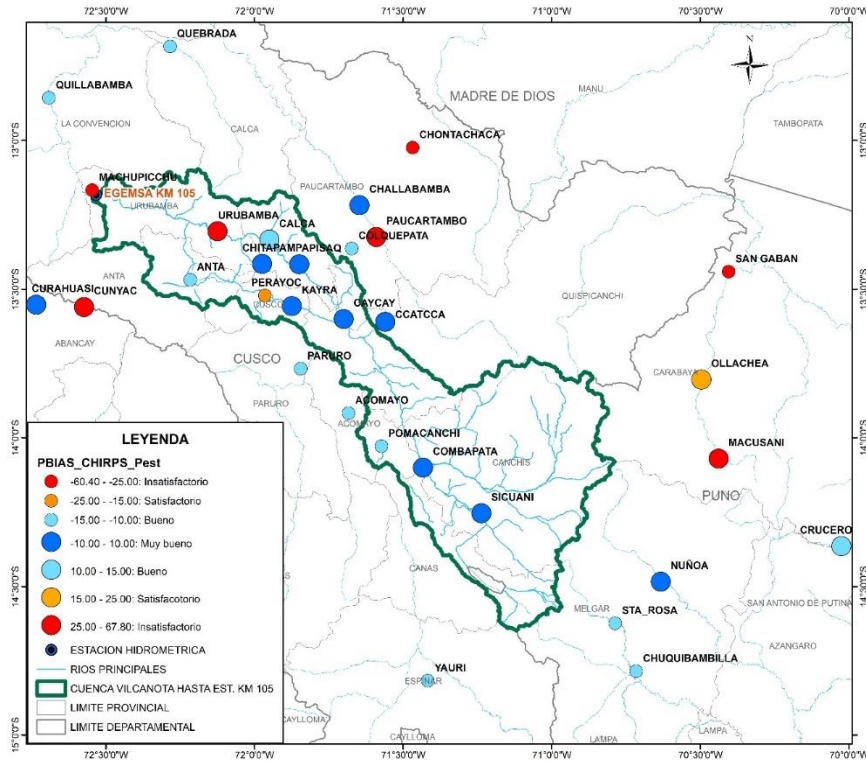
**Figura 105.** Variación espacial del error absoluto medio (MAE) precipitación estacional sin corregir.

Según se muestra en el Figura, las estaciones de Chontachaca y San Gaban tienen RMSE mayor a 400 mm, siendo las estaciones de mayor RMSE; mientras tanto las estaciones de Calca, Chitapampa, Písaq, Kayra, Caycay, Ccatcca y Nuñoa, muestran RMSE menor a 50 mm. Siendo los valores mas bajos.



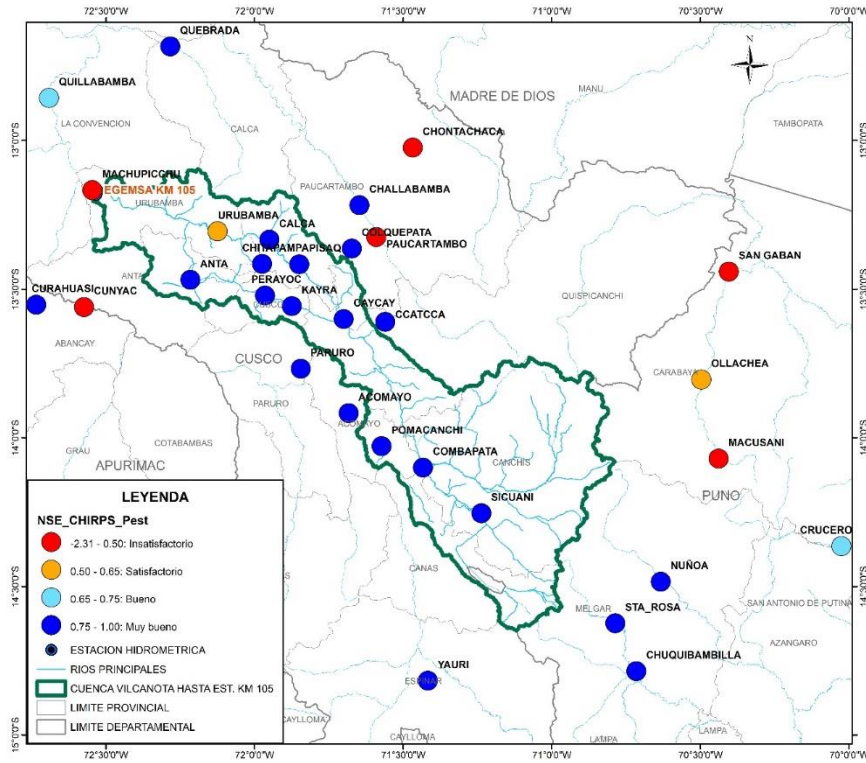
**Figura 106.** Variación espacial de la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE) de la precipitación mensual sin corregir.

En la evaluación del sesgo porcentual de acuerdo a la **Figura 107**, muestra que las estaciones: Machupicchu, Chontachaca, y San Gaban tienen  $-60.4 < \text{PBIAS} < -25$ , considerándose como insatisfactorio; lo que indica que estas estaciones CHIRPS subestiman la precipitación estacional. Mientras tanto en las estaciones: Cunyac, Urubamba, Paucartambo y Macusani se ve lo contrario, con  $67.8 < \text{PBIAS} < 25$ , también considerado insatisfactorio; indica una sobreestimación de la precipitación estacional. Finalmente, sólo en las estaciones: Curahuasi, Chitapampa, Písaq, Challabamba, Kayra, Caycay, Ccatcca, Combapata, Sicuani y Nuñoa con  $-10 < \text{PBIAS} < 10$ , la estimación de la precipitación estacional se considera como muy bueno.



**Figura 107.** Variación espacial del Sesgo Porcentual (PBIAS) de la precipitación estacional sin corregir.

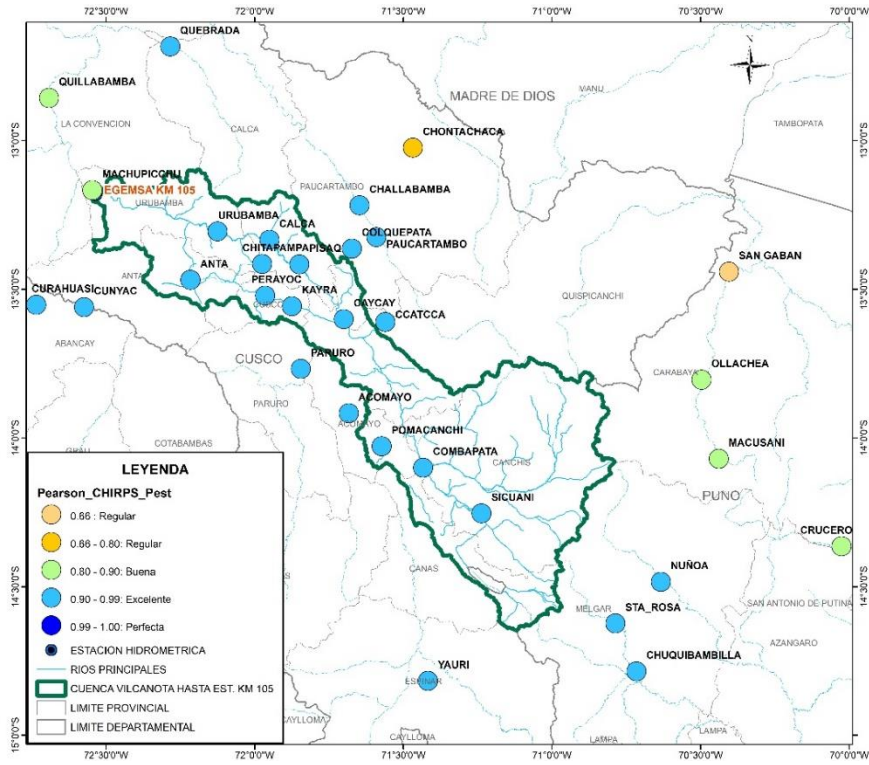
La eficiencia de la estimación de la precipitación estacional se muestra en la **Figura 108**, donde las estaciones: Cunyac, Machupicchu, Paucartambo, Chontachaca, San Gaban y Macusani con  $-2.31 < NSE < 0.50$ , indican una eficiencia insatisfactoria. Por otro lado, las estaciones: Curahuasi, Quebrada, Anta, Calca, Chitapampa, Perayoc, Písaq, Kayra, Challabamba, Colquepata, Caycay, Ccatcca, Paruro, Acomayo, Pomacanchi, Combapata, Sicuani, Yauri, Nuñoa, Santa Rosa, y Chuquibambilla con  $0.75 < NSE < 1$ , indican una eficiencia muy buena.



**Figura 108.** Variación espacial de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación estacional sin corregir.

Según la correlación en la estimación de la precipitación estacional del producto CHIRP, y según muestra la **Figura 109**, podemos indicar que las estaciones de Chontachaca y San Gaban con  $r < 0.60$ , indican una correlación regular. Por otro lado las estaciones: Quebrada, Curahuasi, Cunyac, Anta, Urubamba, Calca, Chitapampa, Písaq, Challabamba, Colquepata, Paucartambo, Perayoc, Kayra, Caycay, Ccatcca, Paruro, Acomayo, Pomacanchi, Combapata, Sicuani, Yauri, Nuñoa, Santa Rosa y Chuquibambilla con  $0.90 < r < 0.99$ , indican una correlación excelente.





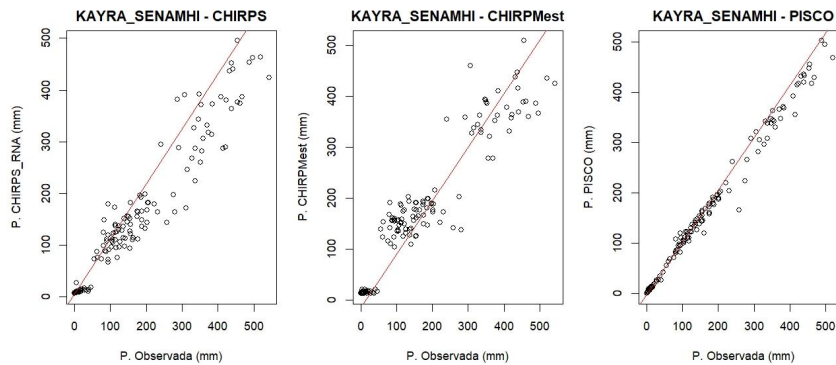
**Figura 109.** Variación espacial de la Correlación de Pearson (r) de la precipitación estacional sin corregir.

### 3.6.4.1.2. Comparación con otros productos de precipitación estacional

#### Resumen de estadísticas de comparación por pares

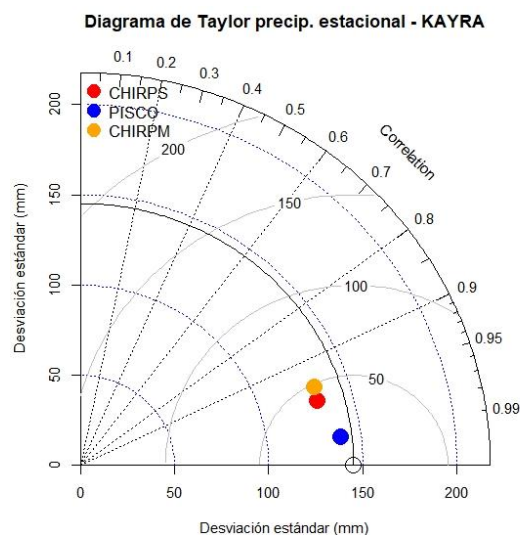
#### Estación Kayra

Se puede apreciar según la **Figura 110**, el producto PISCO muestra mejor correspondencia según la dispersión con respecto a los datos observados, seguido del producto CHIRPS.



**Figura 110.** Dispersión de datos observados y productos a) SENAMHI vs CHIRPS, b) SENAMHI vs CHIRPMd, c) SENAMHI vs PISCO, de la precipitación estacional - Kayra.

Finalmente, la comparación de la precipitación estacional de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMd, según la **Figura 111**, donde mediante el Diagrama de Taylor se aprecia que el producto PISCO tiene  $r > 0.99$ ,  $RMSE < 25$  mm y desviación estándar 150 mm, las cuales están cercanas a los indicadores de los datos observados, que los otros productos, seguido del producto CHIRPS con  $r > 0.95$ ,  $RMSE < 50$  mm y desviación estándar 140 mm.



**Figura 111.** Diagrama de Taylor de datos observados y productos CHIRPS, CHIRPM, PISCO de la precipitación estacional – estación Kayra.

El Diagrama de Taylor para todas las estaciones se encuentra en el anexo A.4.

**3.6.4.2. Estadísticos de validación de datos multiestacionales**

Para el caso de la estación Kayra se tiene.

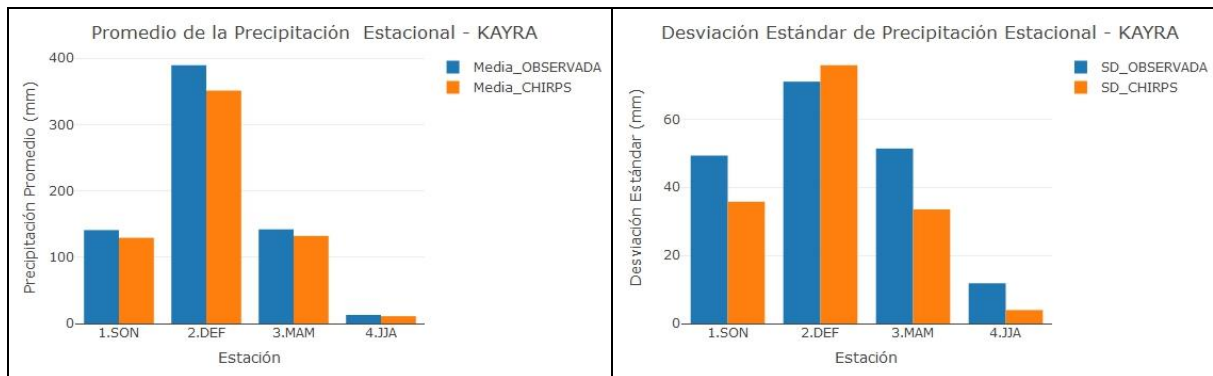
**Tabla 92.** Promedio y desviación estándar precipitación estacional observada – Estación Kayra.

ESTACIÓN	SON	DEF	MAM	JJA
<b>PROMEDIO</b>	140.77	389.28	141.89	12.96
<b>DESV. EST.</b>	49.30	71.02	51.37	11.81

**Tabla 93.** Promedio y desviación estándar precipitación estacional estimada por satélite CHIRPS – Estación Kayra.

ESTACIÓN	SON	DEF	MAM	JJA
<b>PROMEDIO</b>	129.18	351.06	132.03	11.02
<b>DESV. EST.</b>	35.75	75.84	33.50	3.94

La **Figura 112**, muestra que CHIRPS conserva la media, desviación estándar y la estacionalidad.



**Figura 112.** Comparativo del promedio y la desviación estándar de la Precipitación multiestacional observada y estimada por satélite CHIRPS – Estación Kayra.

**3.6.4.2.1. Estadísticas de comparación por pares**

**Estación Kayra**

Se tiene los gráficos de dispersión y la serie de tiempo de la precipitación estacional observada y estimada por satélite CHIRPS.

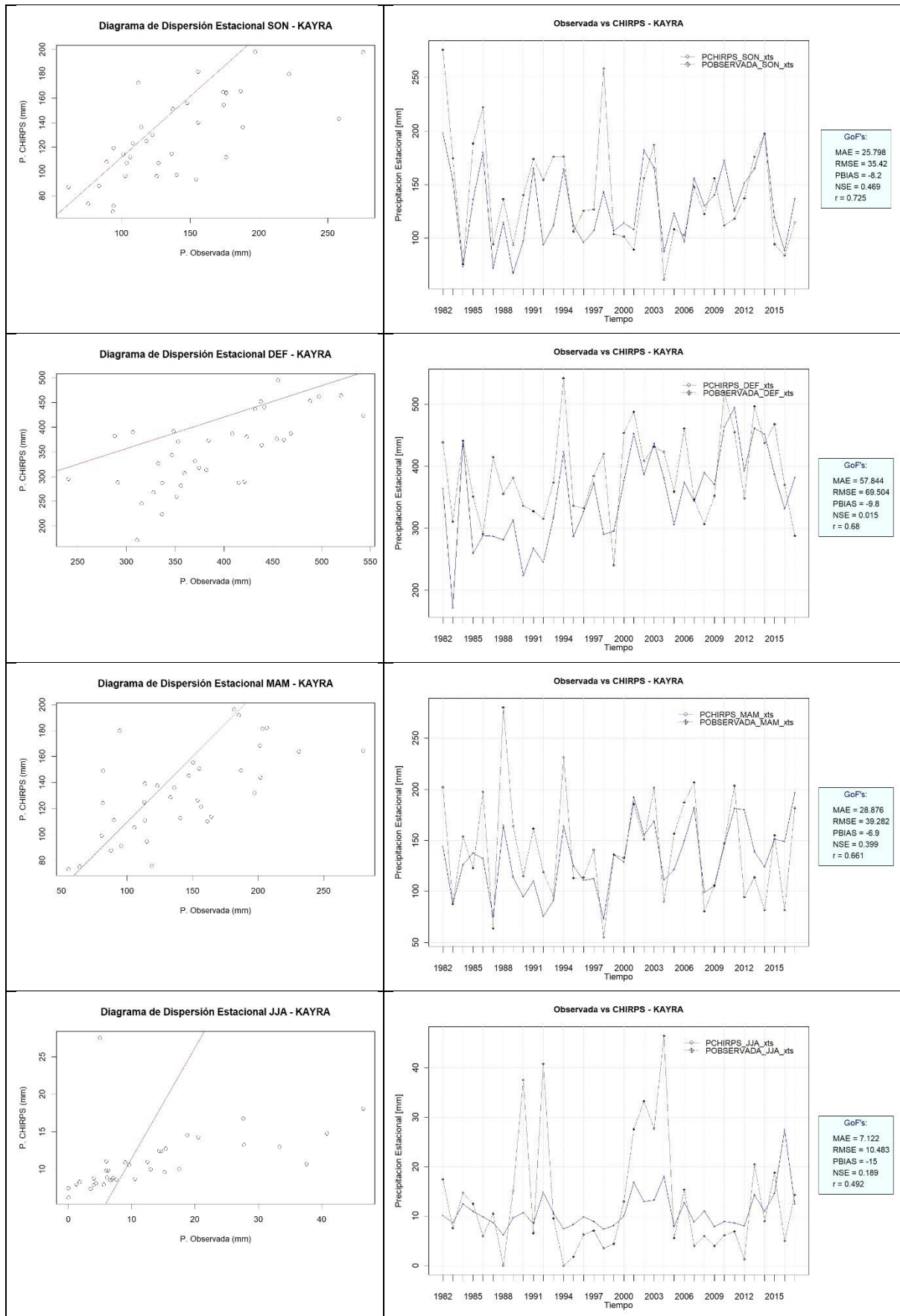


Figura 113. Diagramas de dispersión y series de tiempo estacional estación kayra.