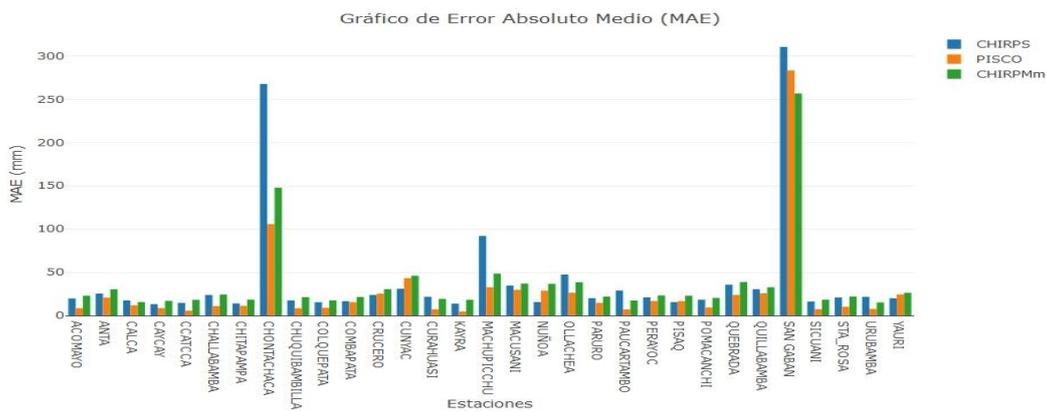


**b. Resumen de estadísticas de comparación por pares**

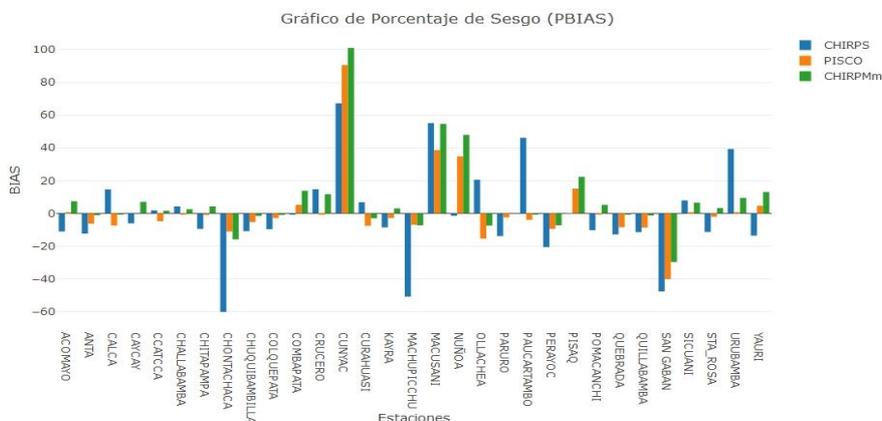
Los resultados de la evaluación estadística de cada producto son como sigue:

Según la **Figura 244**, el producto PISCO muestra valores menores a 20 mm de error absoluto medio siendo menor que los demás productos en todas las estaciones, seguido del producto CHIRPS que tiene MAE alrededor de 20 mm y por último el producto CHIRPM con MAE generalmente mayor a 20 mm. Por otro lado, la Estacion de Chontachaca y San Gaban tienen el MAE mayor a 20 mm y son los mas altos. CHIRPS tiene menores MAE en: Crucero, Cunyac, Nuñoa, Písaq y Yauri.



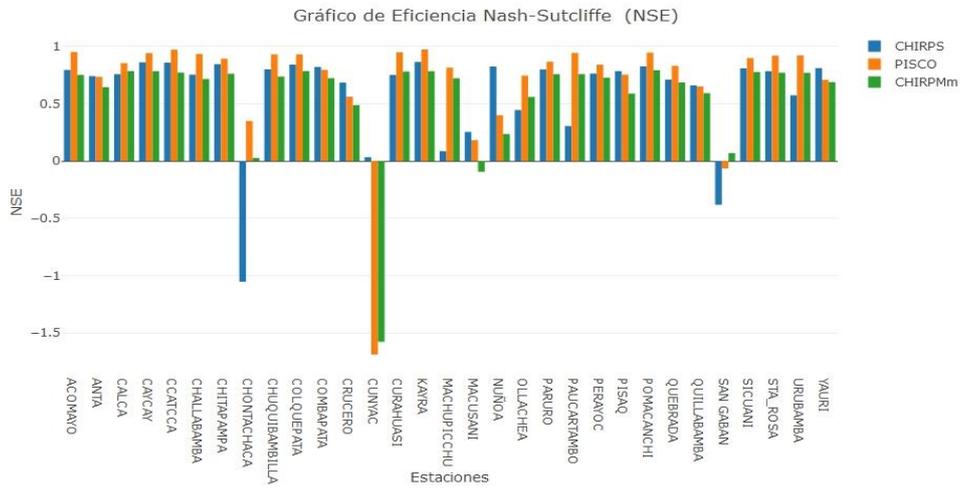
**Figura 244.** Error absoluto medio (MAE) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

El producto CHIRPS muestra PBIAS menor a -40 en las estaciones Chontachaca, Machupicchu y San Gaban, lo que indica que subestima más que los productos PISCO y CHIRPM, por otro lado, CHIRPS sobreestima la precipitación más que los otros productos en las estaciones: Calca, Crucero, Macusani, Ollachea, Paucartambo y Urubamba. CHIRPS tiene mejores PBIAS en: Combapata, Cunyac, Nuñoa, Písaq.



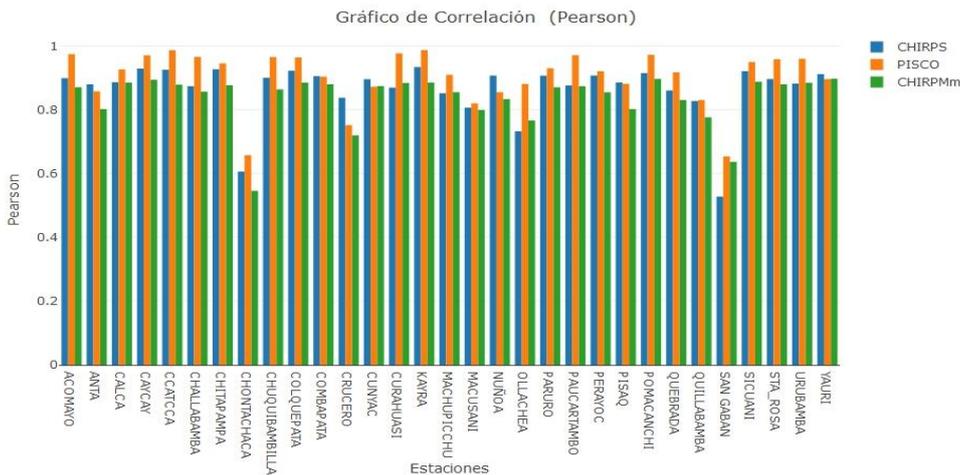
**Figura 245.** Porcentaje de sesgo (PBIAS) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

El producto PISCO en su mayoría tiene mejores valores de NSE, salvo en la estación Cunyac, por otro lado, el producto CHIRPS indica NSE negativo en las estaciones de Chontachaca y San Gaban, las cuales se encuentran ubicadas en la zona de ceja de selva, pero tiene mejores valores de NSE en las estaciones: Combapata, Crucero, Cunyac, Macusani, Nuñoa, Písaq y Yauri.



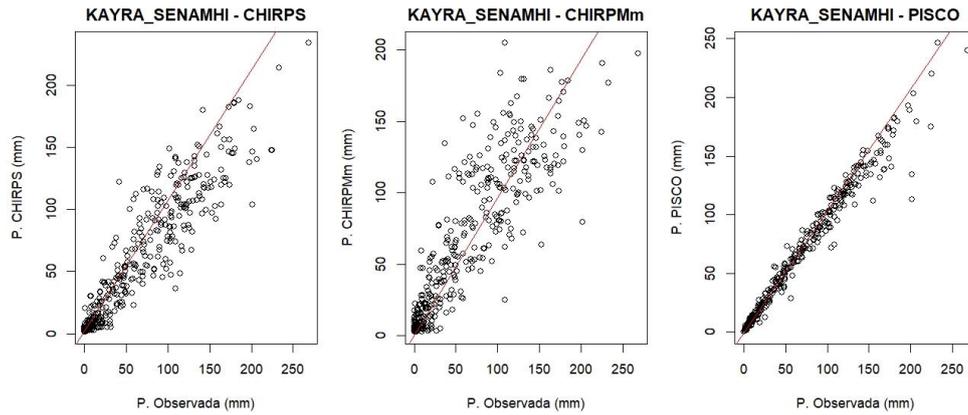
**Figura 246.** Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

En general el producto PISCO tiene mejores resultados de correlación salvo en las estaciones: Anta, Combapata, Crucero, Cunyac, Nuñoa, Písaq y Yauri que el producto CHIRPS es mejor.



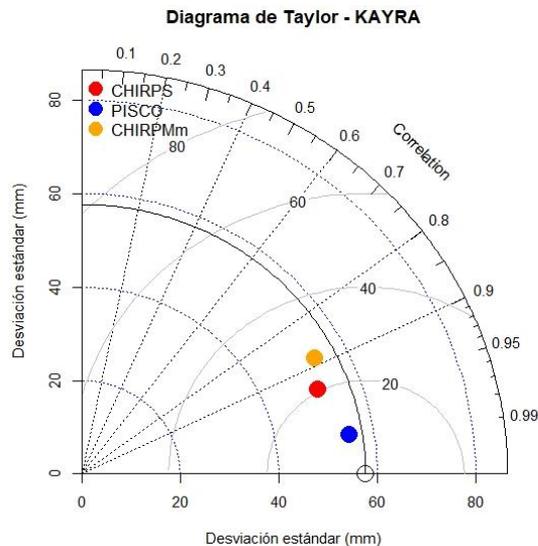
**Figura 247.** Correlación Pearson (r) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

Se acuerdo a la **Figura 248**, el producto PISCO muestra mejor dispersión con respecto a los datos observados.



**Figura 248.** Dispersion de los datos observados vs productos a) SENAMHI vs CHIRPS, b) SENAMHI vs CHIRPMm, c) SENAMHI vs PISCO.

Finalmente, el diagrama de Taylor de la **Figura 249**, nos indica que el producto PISCO con  $RMSE < 20$  mm, correlación  $r > 0.98$  y Desviación estándar cercano a 60 mm; muestra una estimación similar a los datos observados. Mientras tanto el producto CHIRPS indica  $RMSE > 20$  mm, correlación  $r < 0.98$  y Desviación Estandar = 50 mm, siendo el segundo producto de mejor estimación de la precipitación mensual.



**Figura 249.** Comparativo de los productos CHIRPS, PISCO y CHIRPM mediante Diagrama de Taylor.

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



#### 4.1.2.4. Estadísticos de validación de datos multimensuales

- **MAE:** Según la **Figura 95** y **Figura 96**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **MAE<40 mm**, para los meses de abril y mayo, junio, julio y agosto.
  - **MAE<50 mm**, para los meses de febrero, marzo y setiembre.
  - **MAE<100 mm**, para los meses de enero, octubre y noviembre.
  - **MAE<150 mm**, para el mes de diciembre.
- **PBIAS (sesgo):** según la **Figura 97** y **Figura 98**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **-10<PBIAS<10 (sesgo muy bueno)**, para los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo.
  - **Bueno, satisfactorio e insatisfactorio**, según cada estación meteorológica para los meses de abril, mayo y junio (sobrestimación), julio y agosto (sobrestimación y subestimación), setiembre (subestimación) y octubre (sobrestimación y subestimación).
- **NSE:** según la **Figura 99** y **Figura 100**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **NSE (Ajuste)**, satisfactorio e insatisfactorio según cada estación meteorológica para todos los meses.
- **CORRELACIÓN r:** según la **Figura 101** y **Figura 102**, excepto las estaciones se tiene:
  - **Correlación regular a mala**, para todos los meses.

### 4.1.3. Precipitación estacional

#### 4.1.3.1. Estadísticos de validación de datos estacionales

**Tabla 160.** 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          |

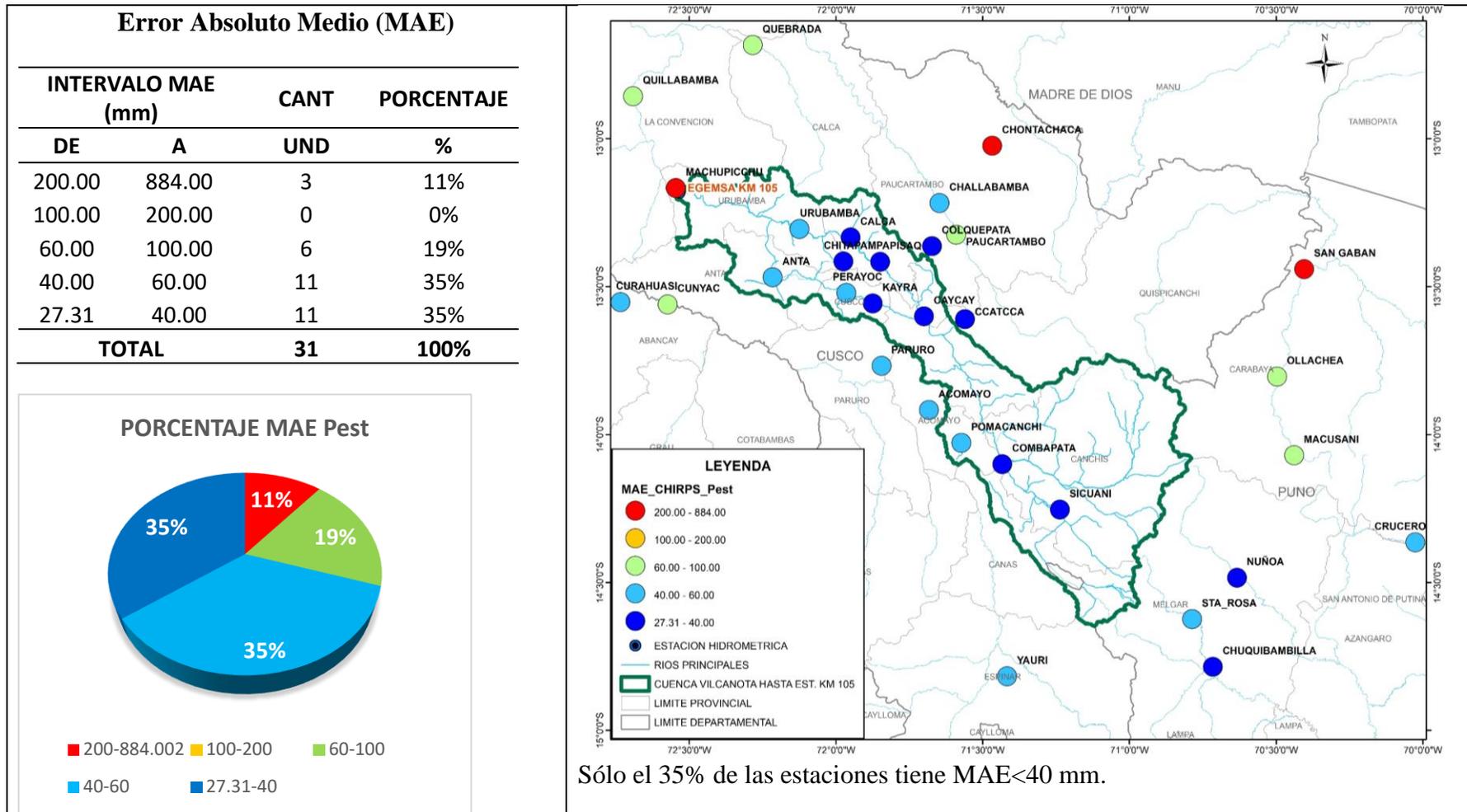
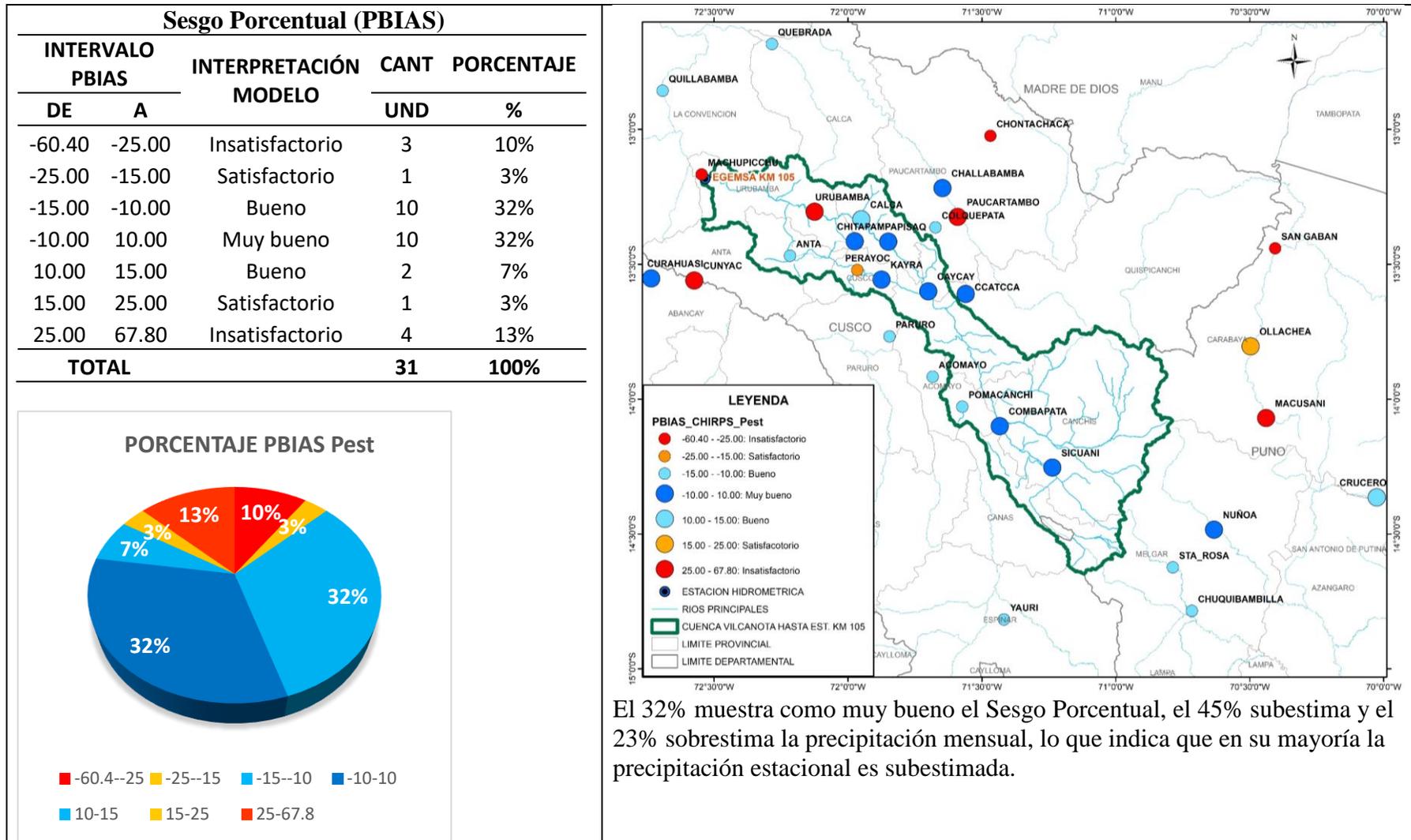


Figura 250. Error Absoluto Medio (MAE) de la precipitación estacional CHIRPS.



El 32% muestra como muy bueno el Sesgo Porcentual, el 45% subestima y el 23% sobrestima la precipitación mensual, lo que indica que en su mayoría la precipitación estacional es subestimada.

Figura 251. Sesgo Porcentual (PBIAS) de la precipitación estacional CHIRPS.

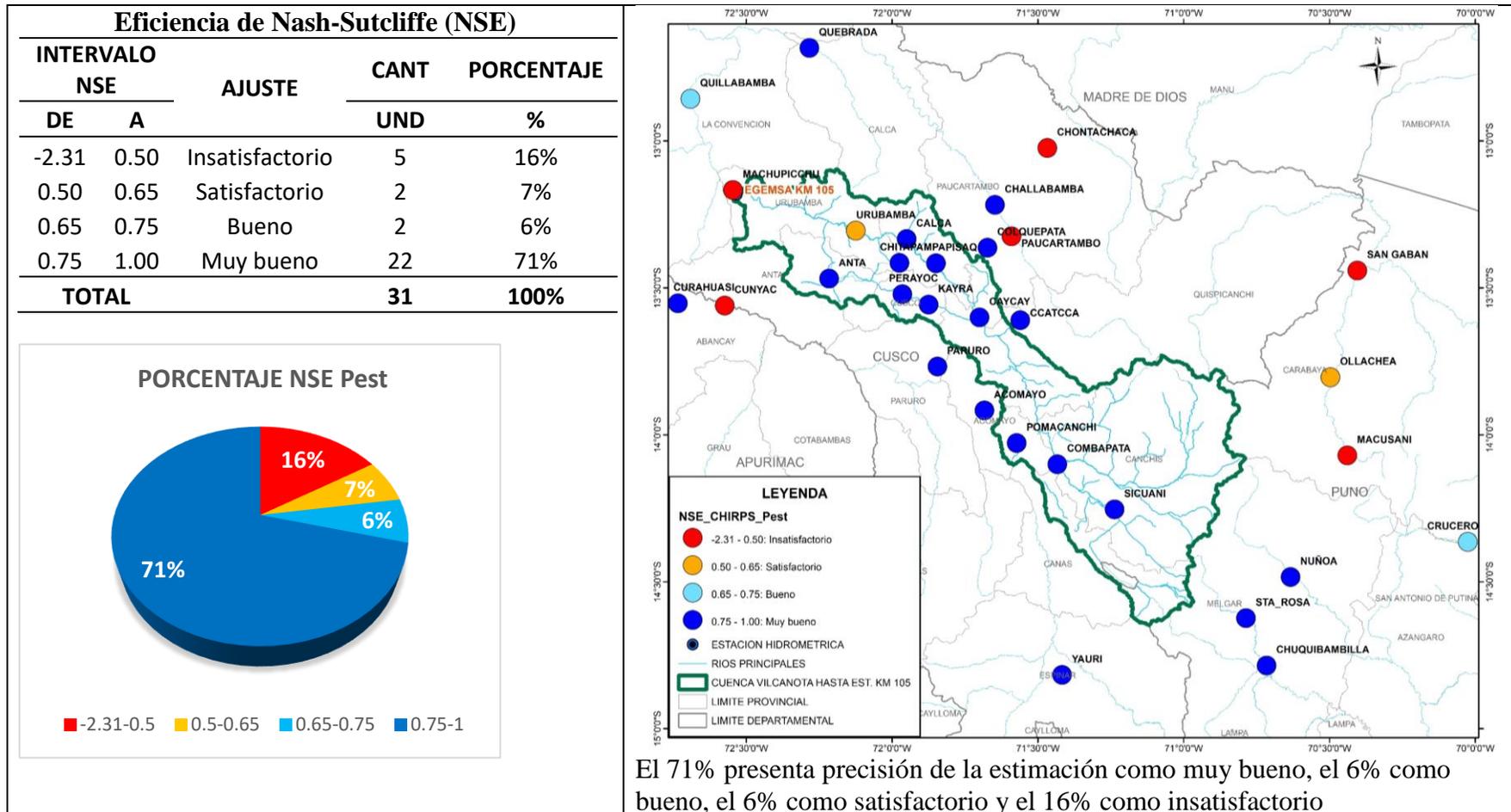


Figura 252. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación estacional CHIRPS.

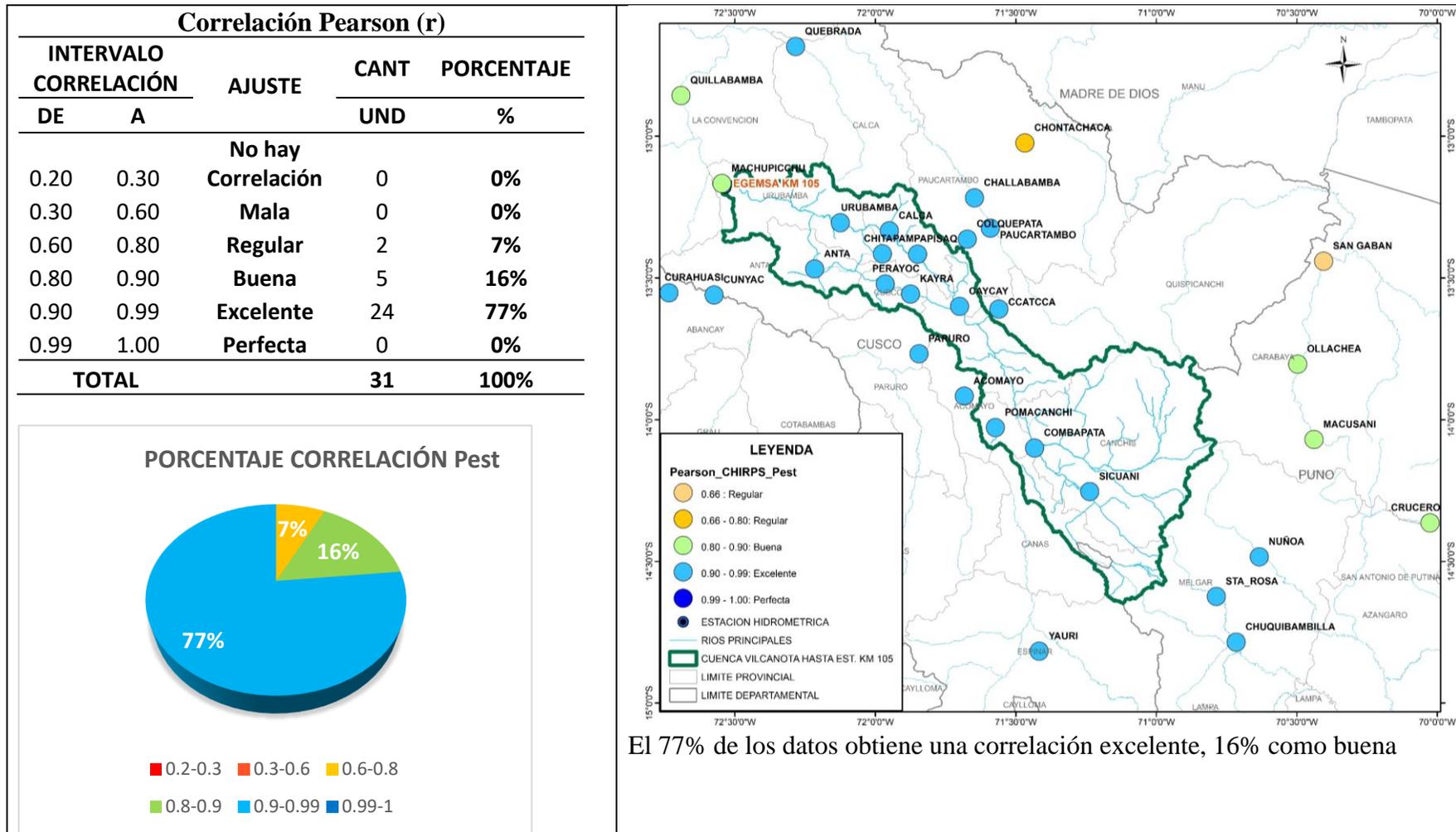


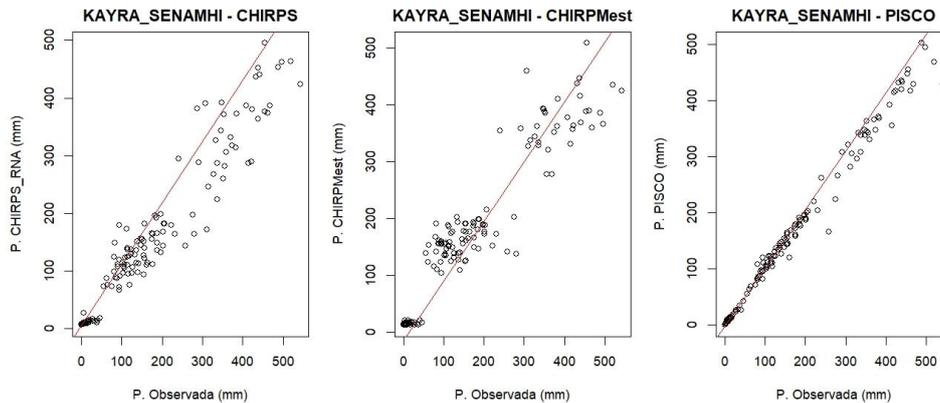
Figura 253. Correlación Pearson (r) de la precipitación estacional CHIRPS.

## Comparación con otros productos de precipitación estacional

### Resumen de Estadísticos de comparación por pares

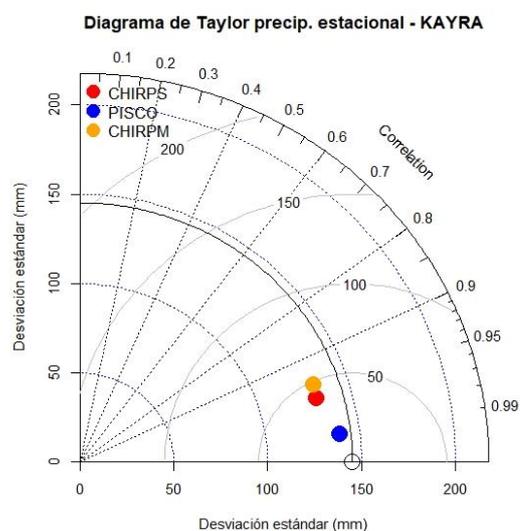
#### Estación Kayra

Según la **Figura 254**, el producto PISCO muestra mejor correspondencia según la dispersión con respecto a los datos observados, seguido del producto CHIRPS.



**Figura 254.** 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 255**, 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 255.** Diagrama de Taylor de datos observados y productos CHIRPS, CHIRPMd, PISCO de la precipitación estacional – estación Kayra.



#### 4.1.3.2. Estadísticos de validación de datos multiestacionales

- **MAE:** Según la **Figura 116**, excepto las estaciones San Gaban, Chontachaca y Machupicchu se tiene:
  - **MAE<50 mm**, para la estación JJA.
  - **MAE<100 mm**, para las estaciones SON, DEF y MAM.
- **PBIAS (sesgo):** según la **Figura 117**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **-10<PBIAS<10 (sesgo muy bueno)**, en promedio en el 40% de las estimaciones CHIRPS, para las estaciones SON, DEF y MAM.
  - **Sesgo bueno, satisfactorio e insatisfactorio**, en la estación JJA.
- **NSE:** según la **Figura 118**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **NSE (Ajuste)**, satisfactorio e insatisfactorio, para todas las estaciones (SON, DEF, MAM y JJA).
- **CORRELACIÓN r:** según la **Figura 119**, excepto las estaciones se tiene:
  - **Correlación regular a mala**, para todas las estaciones (SON, DEF, MAM, JJA).

#### 4.1.4. Precipitación anual

##### Estadísticos de validación de datos anuales

**Tabla 161.** Resumen de los indicadores de comparación de la precipitación anual.

| N  | ESTACION       | MAE_CHIRPS | RMSE_CHIRPS | PBIAS_CHIRPS | NSE_CHIRPS | Pearson_CHIRPS |
|----|----------------|------------|-------------|--------------|------------|----------------|
| 1  | CUNYAC         | 353.450    | 380.899     | 67.200       | -14.811    | 0.507          |
| 2  | COLQUEPATA     | 121.422    | 146.352     | -9.700       | -0.547     | 0.545          |
| 3  | CHITAPAMPA     | 94.233     | 126.222     | -9.500       | -0.154     | 0.591          |
| 4  | SAN GABAN      | 3449.718   | 3654.227    | -47.700      | -9.422     | 0.067          |
| 5  | NUÑO A         | 77.320     | 108.950     | -1.500       | 0.176      | 0.552          |
| 6  | QUILLABAMBA    | 226.616    | 318.147     | -11.500      | -0.841     | 0.088          |
| 7  | KAYRA          | 100.158    | 116.934     | -8.600       | -0.058     | 0.631          |
| 8  | QUEBRADA       | 264.965    | 306.197     | -12.900      | -1.571     | 0.440          |
| 9  | CHALLABAMBA    | 159.398    | 201.225     | 4.200        | -0.843     | 0.430          |
| 10 | CHONTACHACA    | 3198.348   | 3274.056    | -60.200      | -20.070    | 0.352          |
| 11 | CURAHUASI      | 132.806    | 154.528     | 6.800        | -0.596     | 0.422          |
| 12 | MACHUPICCHU    | 1070.900   | 1137.855    | -50.900      | -7.884     | 0.226          |
| 13 | URUBAMBA       | 212.680    | 237.464     | 39.300       | -5.618     | 0.583          |
| 14 | ANTA           | 173.810    | 238.565     | -12.400      | 0.302      | 0.703          |
| 15 | CALCA          | 115.997    | 151.873     | 14.600       | -2.212     | 0.517          |
| 16 | PARURO         | 139.583    | 174.045     | -13.900      | -0.307     | 0.556          |
| 17 | ACOMAYO        | 141.592    | 183.257     | -11.100      | -0.176     | 0.455          |
| 18 | PAUCARTAMBO    | 296.364    | 359.327     | 46.100       | -10.196    | 0.556          |
| 19 | CCATCCA        | 81.858     | 109.175     | 1.800        | 0.314      | 0.695          |
| 20 | OLLACHEA       | 272.402    | 330.556     | 20.500       | -2.621     | 0.243          |
| 21 | COMBAPATA      | 90.337     | 115.670     | -0.800       | 0.351      | 0.656          |
| 22 | SICUANI        | 106.732    | 130.213     | 7.900        | -0.180     | 0.630          |
| 23 | MACUSANI       | 351.623    | 403.358     | 55.100       | -12.376    | 0.355          |
| 24 | CAYCAY         | 104.084    | 120.002     | -6.100       | -0.284     | 0.477          |
| 25 | POMACANCHI     | 122.189    | 156.474     | -10.300      | -0.379     | 0.537          |
| 26 | STA_ROSA       | 126.448    | 170.385     | -11.400      | -0.191     | 0.493          |
| 27 | PISAQ          | 85.351     | 116.884     | 0.100        | 0.349      | 0.621          |
| 28 | PERAYOC        | 182.861    | 223.516     | -20.600      | -1.545     | 0.422          |
| 29 | YAURI          | 129.715    | 172.573     | -13.600      | -0.106     | 0.611          |
| 30 | CHUQUIBAMBILLA | 112.847    | 131.368     | -10.900      | 0.085      | 0.682          |
| 31 | CRUCERO        | 198.769    | 245.610     | 14.700       | -0.032     | 0.412          |

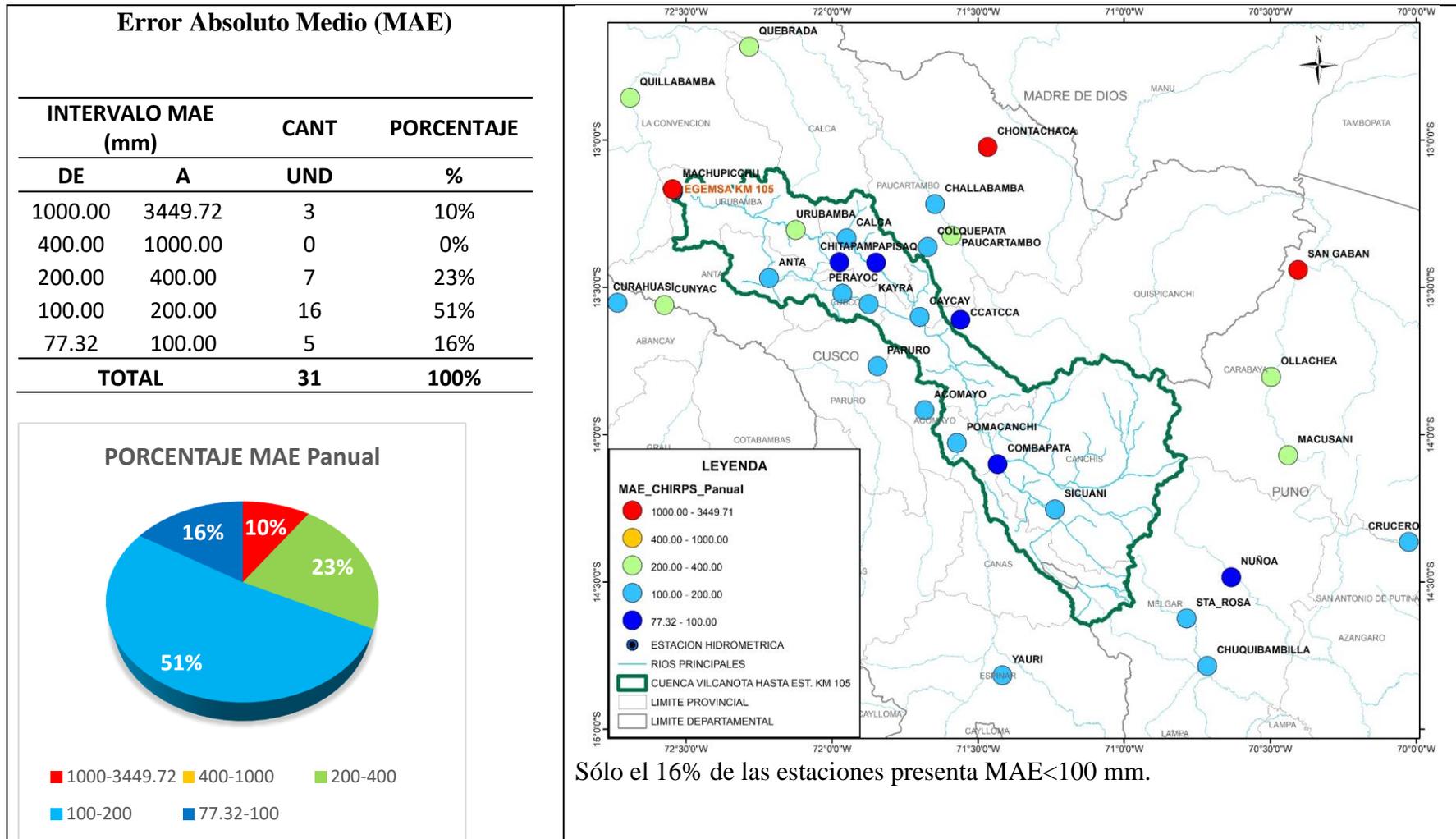


Figura 256. Error Absoluto Medio (MAE) de la precipitación anual.

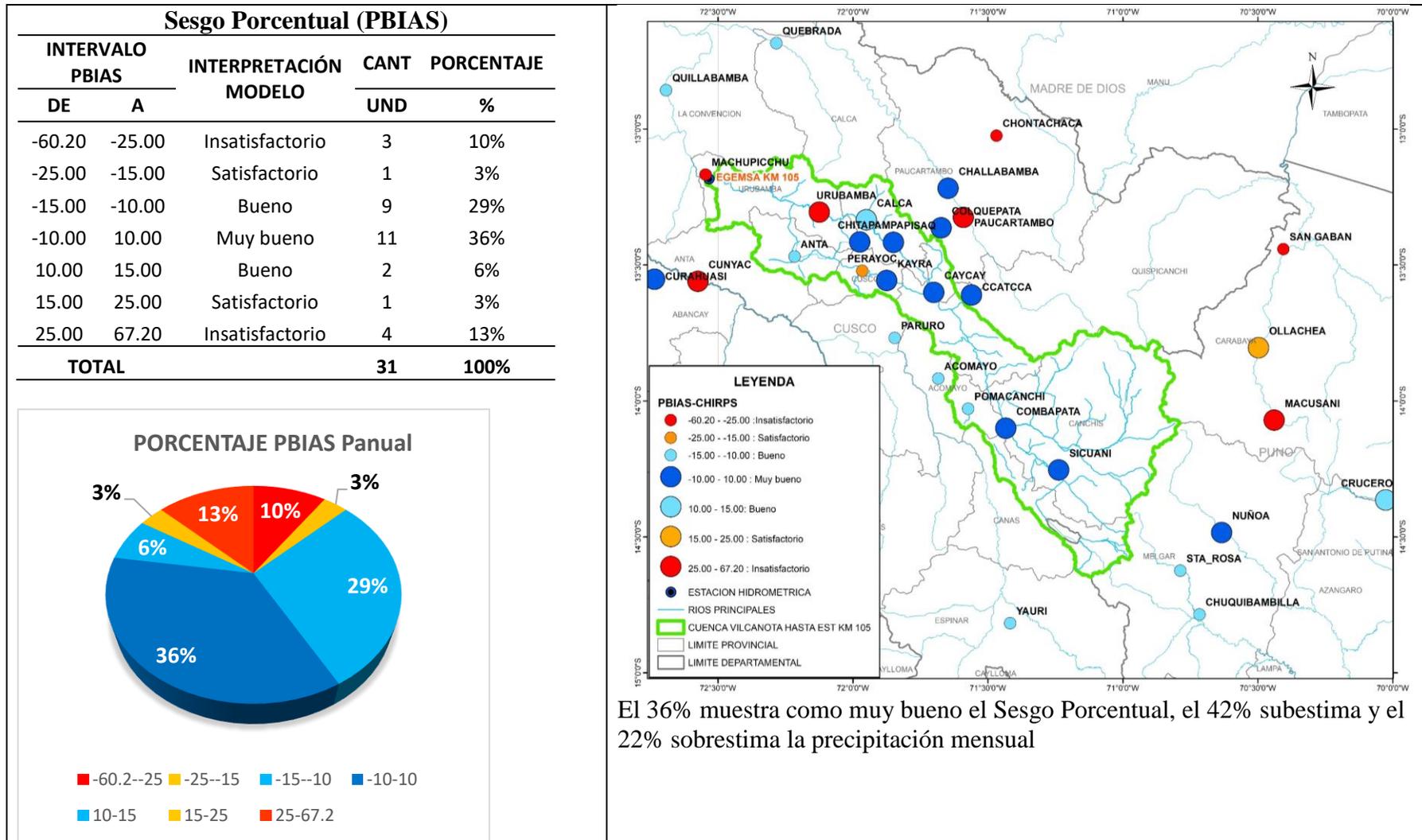


Figura 257. Sesgo Porcentual (PBIAS) de la precipitación anual.

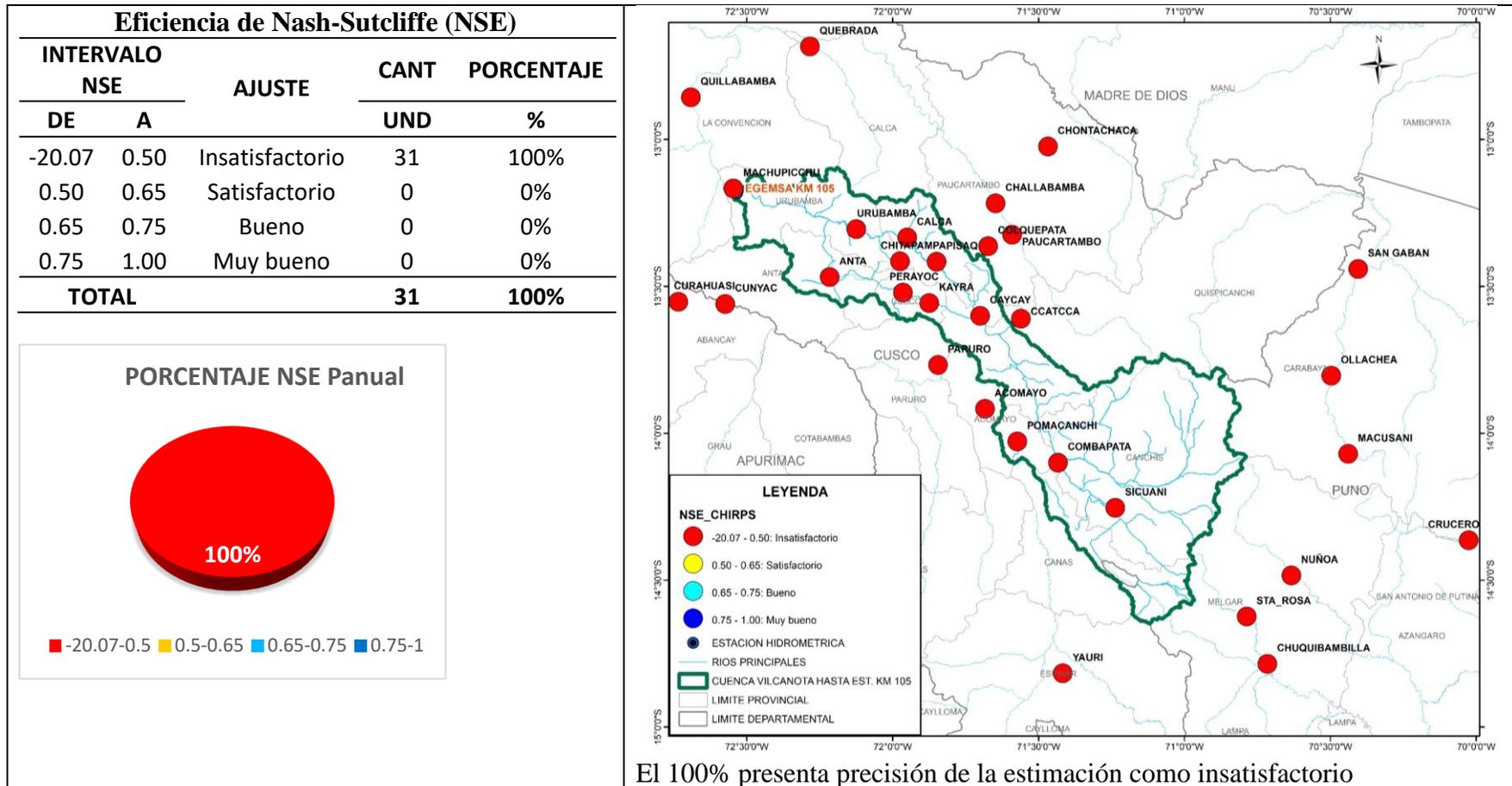


Figura 258. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación anual.

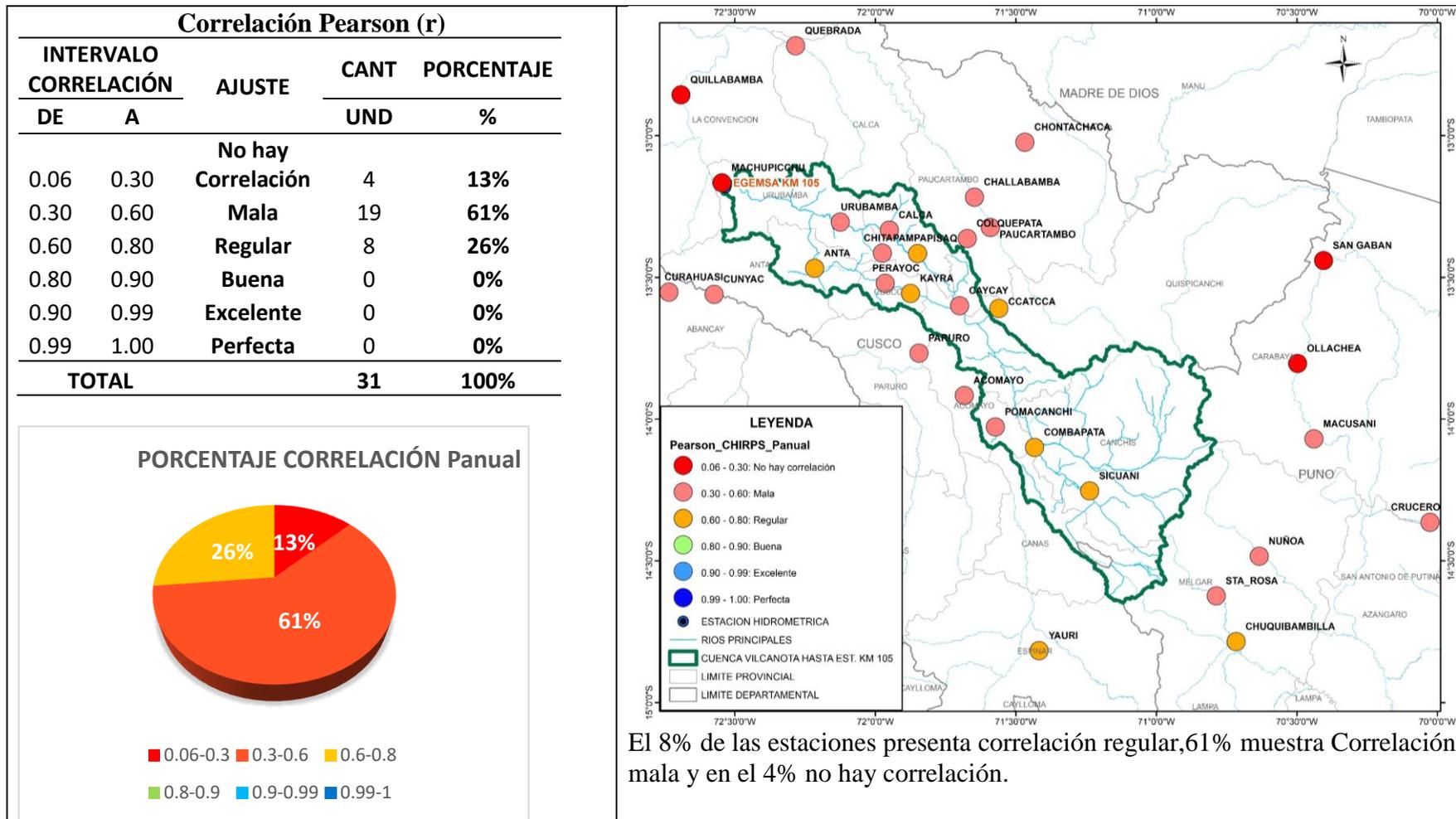


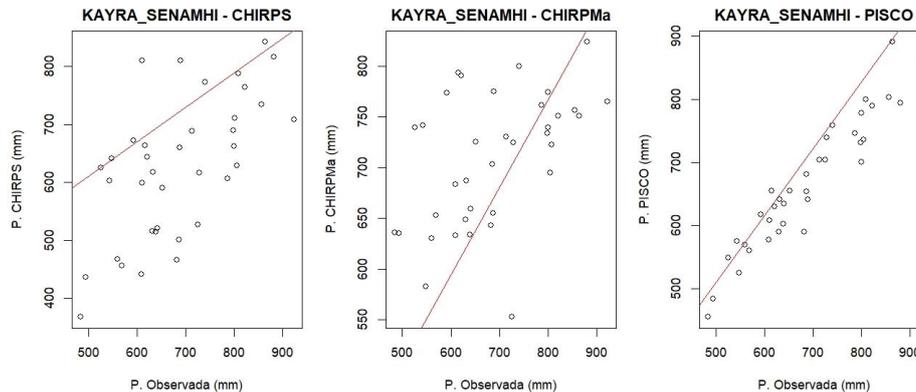
Figura 259. Correlación Pearson (r) de la precipitación anual.

## Comparación con otros productos de precipitación anual

### Resumen de Estadísticos de comparación por pares

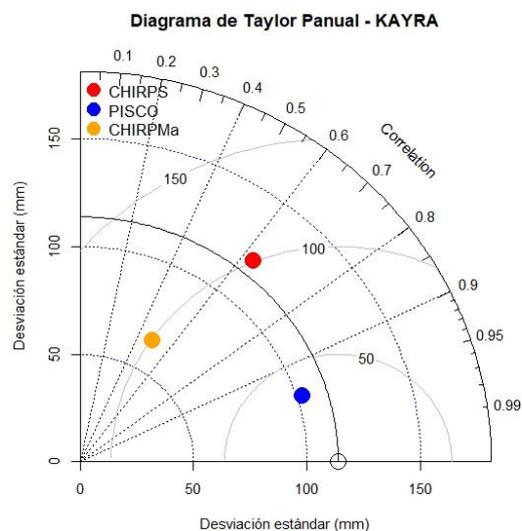
#### Estación Kayra

Se puede apreciar según la **Figura 260**, el producto PISCO muestra mejor correspondencia según la dispersión con respecto a los datos observados, seguido del producto CHIRPM



**Figura 260.** Dispersión de la precipitación anual observada vs los productos CHIRPS, CHIRPM y PISCO - Estación Kayra.

Finalmente, la comparación de la precipitación anual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMd, según la **Figura 261**, donde mediante el Diagrama de Taylor se aprecia que el producto PISCO con  $r > 0.90$ ,  $RMSE < 40$  mm y desviación estándar 100 mm, las cuales están cercanas a los indicadores de los datos observados, que los otros productos, seguido del producto CHIRPS con  $r > 0.61$ ,  $RMSE < 100$  mm y desviación estándar 120 mm.



**Figura 261.** Diagrama de Taylor de datos observados y productos CHIRPS, CHIRPMd, PISCO de la precipitación anual- estación Kayra.

**4.2. Corrección de la precipitación mensual mediante RNA.**

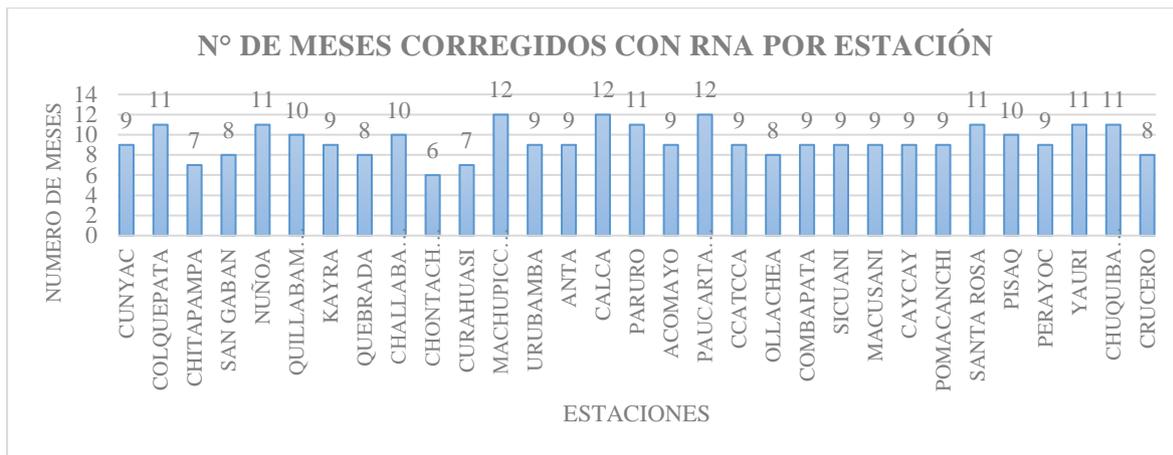
Como se puede apreciar en la **Tabla 162**, no ha sido posible la corrección de la precipitación mensual de todos los meses porque las variables de entrada de dichos meses no convergen en un resultado respecto a la salida objetivo; por lo tanto, se presenta el grafico del resumen de los meses corregidos con los modelos de RNA por cada estación.

**Tabla 162.** Resumen de arquitecturas por modelo y estación.

| ESTACION       | RNA-1     | RNA-2     | RNA-3      | TOTAL OBTENIDOS | TOTAL REQUERIDO | PORCENTAJE OBTENIDO |
|----------------|-----------|-----------|------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| CUNYAC         | 2         | 5         | 2          | 9               | 12              | 75%                 |
| COLQUEPATA     | 1         | 5         | 5          | 11              | 12              | 92%                 |
| CHITAPAMPA     | 1         | 0         | 6          | 7               | 12              | 58%                 |
| SAN GABAN      | 3         | 3         | 2          | 8               | 12              | 67%                 |
| NUÑO A         | 6         | 3         | 2          | 11              | 12              | 92%                 |
| QUILLABAMBA    | 1         | 3         | 6          | 10              | 12              | 83%                 |
| KAYRA          | 4         | 2         | 3          | 9               | 12              | 75%                 |
| QUEBRADA       | 0         | 3         | 5          | 8               | 12              | 67%                 |
| CHALLABAMBA    | 3         | 3         | 4          | 10              | 12              | 83%                 |
| CHONTACHACA    | 2         | 2         | 2          | 6               | 12              | 50%                 |
| CURAHUASI      | 3         | 1         | 3          | 7               | 12              | 58%                 |
| MACHUPICCHU    | 1         | 3         | 8          | 12              | 12              | 100%                |
| URUBAMBA       | 1         | 3         | 5          | 9               | 12              | 75%                 |
| ANTA           | 1         | 3         | 5          | 9               | 12              | 75%                 |
| CALCA          | 4         | 4         | 4          | 12              | 12              | 100%                |
| PARURO         | 2         | 5         | 4          | 11              | 12              | 92%                 |
| ACOMAYO        | 1         | 3         | 5          | 9               | 12              | 75%                 |
| PAUCARTAMBO    | 3         | 7         | 2          | 12              | 12              | 100%                |
| CCATCCA        | 2         | 5         | 2          | 9               | 12              | 75%                 |
| OLLACHEA       | 1         | 4         | 3          | 8               | 12              | 67%                 |
| COMBAPATA      | 1         | 3         | 5          | 9               | 12              | 75%                 |
| SICUANI        | 2         | 4         | 3          | 9               | 12              | 75%                 |
| MACUSANI       | 0         | 3         | 6          | 9               | 12              | 75%                 |
| CAYCAY         | 5         | 1         | 3          | 9               | 12              | 75%                 |
| POMACANCHI     | 3         | 3         | 3          | 9               | 12              | 75%                 |
| SANTA ROSA     | 3         | 4         | 4          | 11              | 12              | 92%                 |
| PISAQ          | 3         | 3         | 4          | 10              | 12              | 83%                 |
| PERAYOC        | 3         | 5         | 1          | 9               | 12              | 75%                 |
| YAURI          | 0         | 3         | 8          | 11              | 12              | 92%                 |
| CHUQUIBAMBILLA | 2         | 2         | 7          | 11              | 12              | 92%                 |
| CRUCERO        | 2         | 0         | 6          | 8               | 12              | 67%                 |
| <b>TOTAL</b>   | <b>66</b> | <b>98</b> | <b>128</b> | <b>292</b>      | <b>372</b>      | <b>78%</b>          |

Ademas se puede indicar que fue posible corregir el 78% de la totalidad de los datos mensuales estimados por satélite CHIRPS, por lo que el resto fue completado mediante el método CUTOFF.

Se puede apreciar en **Figura 262**, que la estación Chontachaca tiene la mínima cantidad de meses corregidos 6 meses, y las estaciones Machupicchu, Calca y Paucartambo con 12 meses.



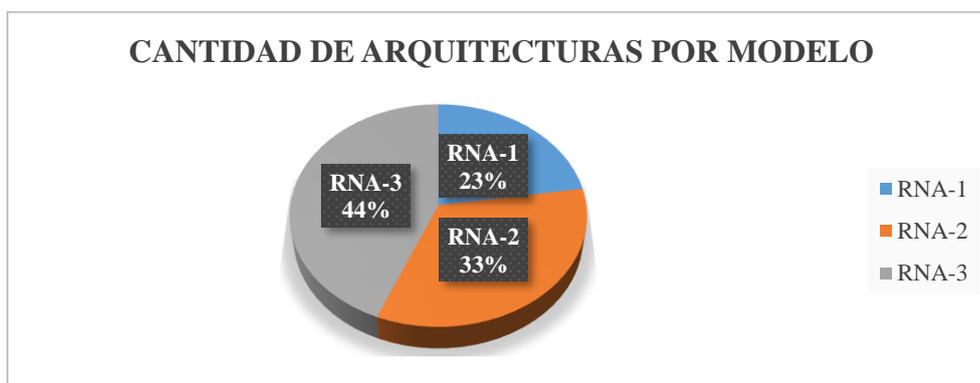
**Figura 262.** Número de meses corregidos con RNA por estación.

Como resumen total de la corrección a los datos mensuales por cada mes y para cada estación se tiene 66 und del modelo RNA-1, 98 und del modelo RNA-2 y 128 und del modelo RNA-3, haciendo un total de 292 modelos de RNA obtenidos.

**Tabla 163.** Resumen total de modelos de RNA obtenidos para las 31 estaciones.

| MODELO            | RNA-1 | RNA-2 | RNA-3 | TOTAL       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------------|
| <b>TOTAL</b>      | 66    | 98    | 128   | <b>292</b>  |
| <b>PORCENTAJE</b> | 23%   | 34%   | 44%   | <b>100%</b> |

Según el **Figura 263**, donde se puede apreciar que el modelo RNA-3 representa el 44% de toda la cantidad de modelos, el modelo RNA-2 el 33% y el modelo RNA-1 el 23%, por lo tanto, se demuestra que mayores a una variable de entrada garantizan la corrección mediante RNA.



**Figura 263.** Porcentaje total de arquitecturas por modelos planteados.

### 4.3. Precipitación estimada por satélite corregida mediante RNA

#### 4.3.1. Precipitación mensual.

##### 4.3.1.1. Estadísticos de validación categórica

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

**Tabla 164.** Indicadores estadísticos de validación Categórica para umbral = 60 mm.

| N  | ESTACIONES     | A   | B  | C   | OBS=A+C | CHIRPS_RNA=A+B | A+B+C | POD  | FAR  | TS   |
|----|----------------|-----|----|-----|---------|----------------|-------|------|------|------|
| 1  | CUNYAC         | 135 | 12 | 19  | 154     | 147            | 166   | 0.88 | 0.08 | 0.81 |
| 2  | COLQUEPATA     | 171 | 12 | 4   | 175     | 183            | 187   | 0.98 | 0.07 | 0.91 |
| 3  | CHITAPAMPA     | 160 | 13 | 16  | 176     | 173            | 189   | 0.91 | 0.08 | 0.85 |
| 4  | SAN GABAN      | 438 | 5  | 0   | 438     | 443            | 443   | 1.00 | 0.01 | 0.99 |
| 5  | NUÑO A         | 165 | 18 | 10  | 175     | 183            | 193   | 0.94 | 0.10 | 0.85 |
| 6  | QUILLABAMBA    | 249 | 26 | 10  | 259     | 275            | 285   | 0.96 | 0.09 | 0.87 |
| 7  | KAYRA          | 169 | 18 | 9   | 178     | 187            | 196   | 0.95 | 0.10 | 0.86 |
| 8  | QUEBRADA       | 269 | 15 | 23  | 292     | 284            | 307   | 0.92 | 0.05 | 0.88 |
| 9  | CHALLABAMBA    | 204 | 18 | 11  | 215     | 222            | 233   | 0.95 | 0.08 | 0.88 |
| 10 | CHONTACHACA    | 321 | 0  | 107 | 428     | 321            | 428   | 0.75 | 0.00 | 0.75 |
| 11 | CURAHUASI      | 167 | 16 | 23  | 190     | 183            | 206   | 0.88 | 0.09 | 0.81 |
| 12 | MACHUPICCHU    | 326 | 25 | 16  | 342     | 351            | 367   | 0.95 | 0.07 | 0.89 |
| 13 | URUBAMBA       | 137 | 21 | 9   | 146     | 158            | 167   | 0.94 | 0.13 | 0.82 |
| 14 | ANTA           | 190 | 20 | 12  | 202     | 210            | 222   | 0.94 | 0.10 | 0.86 |
| 15 | CALCA          | 162 | 13 | 11  | 173     | 175            | 186   | 0.94 | 0.07 | 0.87 |
| 16 | PARURO         | 177 | 23 | 15  | 192     | 200            | 215   | 0.92 | 0.12 | 0.82 |
| 17 | ACOMAYO        | 183 | 19 | 24  | 207     | 202            | 226   | 0.88 | 0.09 | 0.81 |
| 18 | PAUCARTAMBO    | 162 | 20 | 6   | 168     | 182            | 188   | 0.96 | 0.11 | 0.86 |
| 19 | CCATCCA        | 162 | 16 | 11  | 173     | 178            | 189   | 0.94 | 0.09 | 0.86 |
| 20 | OLLACHEA       | 233 | 39 | 13  | 246     | 272            | 285   | 0.95 | 0.14 | 0.82 |
| 21 | COMBAPATA      | 190 | 12 | 12  | 202     | 202            | 214   | 0.94 | 0.06 | 0.89 |
| 22 | SICUANI        | 190 | 17 | 7   | 197     | 207            | 214   | 0.96 | 0.08 | 0.89 |
| 23 | MACUSANI       | 163 | 30 | 9   | 172     | 193            | 202   | 0.95 | 0.16 | 0.81 |
| 24 | CAYCAY         | 155 | 13 | 12  | 167     | 168            | 180   | 0.93 | 0.08 | 0.86 |
| 25 | POMACANCHI     | 198 | 3  | 19  | 217     | 201            | 220   | 0.91 | 0.01 | 0.90 |
| 26 | STA_ROSA       | 189 | 13 | 15  | 204     | 202            | 217   | 0.93 | 0.06 | 0.87 |
| 27 | PISAQ          | 125 | 14 | 16  | 141     | 139            | 155   | 0.89 | 0.10 | 0.81 |
| 28 | PERAYOC        | 190 | 19 | 18  | 208     | 209            | 227   | 0.91 | 0.09 | 0.84 |
| 29 | YAURI          | 171 | 8  | 8   | 179     | 179            | 187   | 0.96 | 0.04 | 0.91 |
| 30 | CHUQUIBAMBILLA | 179 | 17 | 18  | 197     | 196            | 214   | 0.91 | 0.09 | 0.84 |
| 31 | CRUCERO        | 158 | 33 | 14  | 172     | 191            | 205   | 0.92 | 0.17 | 0.77 |

• Probabilidad de Detección (POD)

Tabla 165. Probabilidad de Detección (POD) para umbral = 60 mm precipitación mensual.

| N  | ESTACIONES     | POD  | POD_RNA | DIF   |
|----|----------------|------|---------|-------|
| 1  | CUNYAC         | 0.98 | 0.88    | -0.10 |
| 2  | COLQUEPATA     | 0.83 | 0.98    | 0.15  |
| 3  | CHITAPAMPA     | 0.84 | 0.91    | 0.07  |
| 4  | SAN GABAN      | 0.84 | 1.00    | 0.16  |
| 5  | NUÑO A         | 0.91 | 0.94    | 0.03  |
| 6  | QUILLABAMBA    | 0.83 | 0.96    | 0.14  |
| 7  | KAYRA          | 0.89 | 0.95    | 0.06  |
| 8  | QUEBRADA       | 0.87 | 0.92    | 0.05  |
| 9  | CHALLABAMBA    | 0.91 | 0.95    | 0.04  |
| 10 | CHONTACHACA    | 0.75 | 0.75    | 0.00  |
| 11 | CURAHUASI      | 0.90 | 0.88    | -0.02 |
| 12 | MACHUPICCHU    | 0.72 | 0.95    | 0.24  |
| 13 | URUBAMBA       | 0.97 | 0.94    | -0.03 |
| 14 | ANTA           | 0.90 | 0.94    | 0.04  |
| 15 | CALCA          | 0.84 | 0.94    | 0.10  |
| 16 | PARURO         | 0.85 | 0.92    | 0.07  |
| 17 | ACOMAYO        | 0.85 | 0.88    | 0.03  |
| 18 | PAUCARTAMBO    | 0.98 | 0.96    | -0.02 |
| 19 | CCATCCA        | 0.90 | 0.94    | 0.04  |
| 20 | OLLACHEA       | 0.93 | 0.95    | 0.02  |
| 21 | COMBAPATA      | 0.90 | 0.94    | 0.04  |
| 22 | SICUANI        | 0.88 | 0.96    | 0.08  |
| 23 | MACUSANI       | 0.99 | 0.95    | -0.04 |
| 24 | CAYCAY         | 0.87 | 0.93    | 0.05  |
| 25 | POMACANCHI     | 0.87 | 0.91    | 0.05  |
| 26 | STA_ROSA       | 0.89 | 0.93    | 0.03  |
| 27 | PISAQ          | 0.87 | 0.89    | 0.01  |
| 28 | PERAYOC        | 0.77 | 0.91    | 0.14  |
| 29 | YAURI          | 0.88 | 0.96    | 0.07  |
| 30 | CHUQUIBAMBILLA | 0.86 | 0.91    | 0.05  |
| 31 | CRUCERO        | 0.95 | 0.92    | -0.03 |

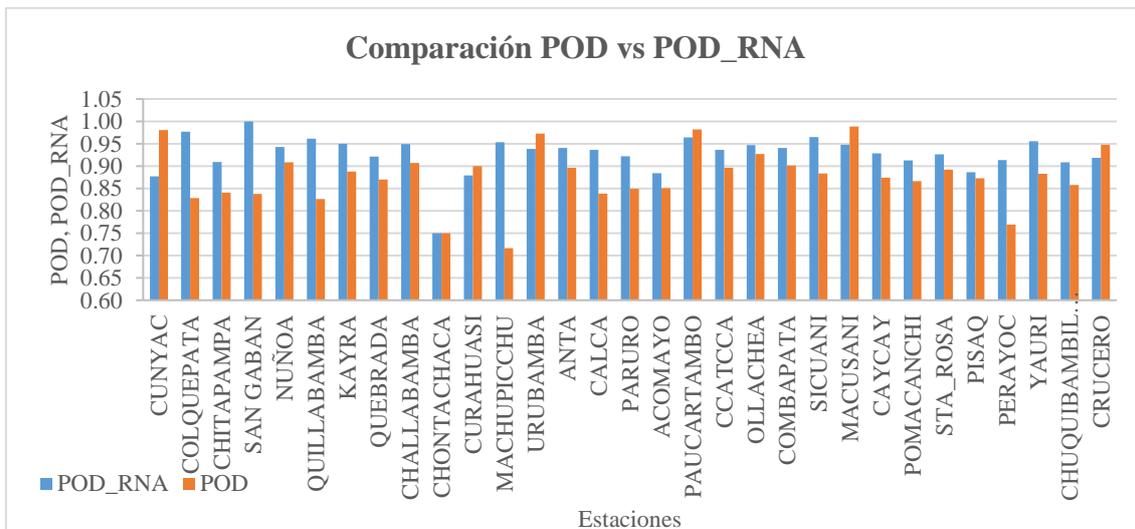
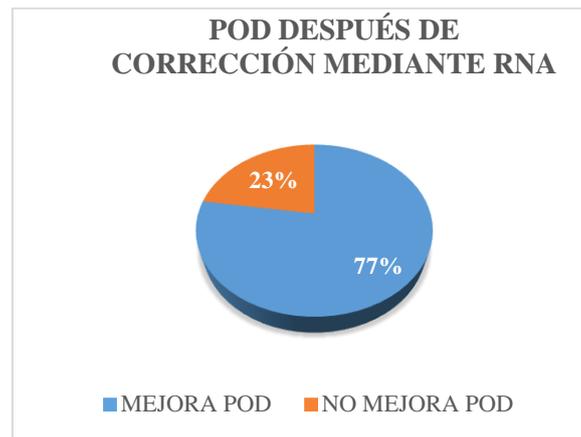
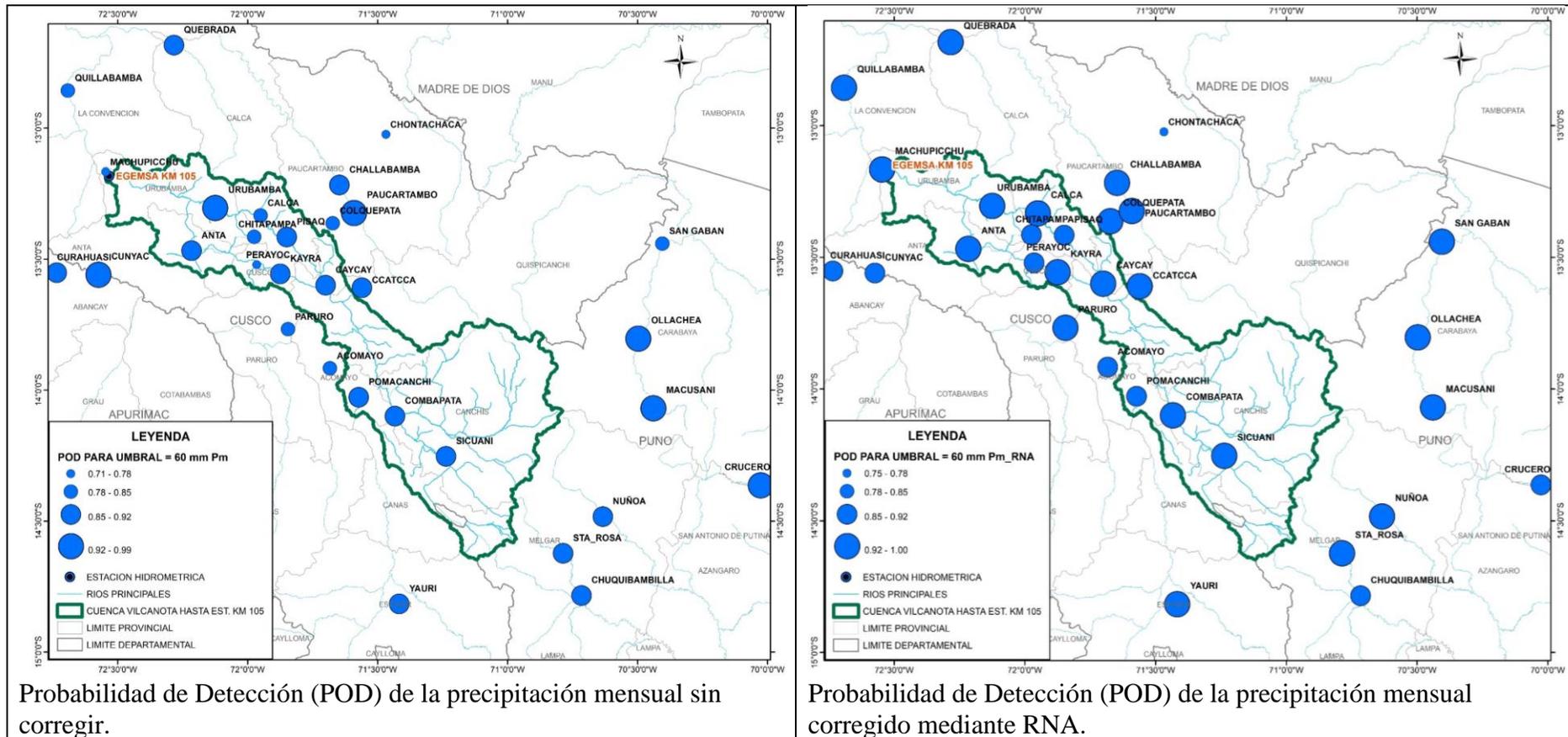


Figura 264. Comparativo de POD vs POD\_RNA para la precipitación mensual.

**Tabla 166.** Cantidad de estaciones CHIRPS mejoradas en la POD para umbral = 60 mm.

| DESCRIPCIÓN             | CANT.<br>ESTACIONES | PORCENTAJE  |
|-------------------------|---------------------|-------------|
| MEJORA POD              | 24                  | 77%         |
| NO MEJORA POD           | 7                   | 23%         |
| <b>TOTAL ESTACIONES</b> | <b>31</b>           | <b>100%</b> |

**Figura 265.** Porcentaje de estaciones CHIRPS mejoradas en la POD para umbral = 60 mm.



**Figura 266.** Comparativo de la Probabilidad de Detección (POD) de la precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.



- **Ratio de Falsa Alarma (FAR)**

**Tabla 167.** Ratio de Falsa Alarma (FAR) para umbral = 60 mm precipitación mensual.

| N  | ESTACIONES    | FAR  | FAR_RNA | DIF   |
|----|---------------|------|---------|-------|
| 1  | CUNYAC        | 0.27 | 0.08    | 0.19  |
| 2  | COLQUEPATA    | 0.09 | 0.07    | 0.02  |
| 3  | CHITAPAMPA    | 0.06 | 0.08    | -0.01 |
| 4  | SAN GABAN     | 0.01 | 0.01    | 0.00  |
| 5  | NUÑO A        | 0.11 | 0.10    | 0.01  |
| 6  | QUILLABAMBA   | 0.09 | 0.09    | 0.00  |
| 7  | KAYRA         | 0.07 | 0.10    | -0.03 |
| 8  | QUEBRADA      | 0.05 | 0.05    | 0.00  |
| 9  | CHALLABAMBA   | 0.11 | 0.08    | 0.02  |
| 10 | CHONTACHACA   | 0.00 | 0.00    | 0.00  |
| 11 | CURAHUASI     | 0.12 | 0.09    | 0.04  |
| 12 | MACHUPICCHU   | 0.01 | 0.07    | -0.06 |
| 13 | URUBAMBA      | 0.23 | 0.13    | 0.10  |
| 14 | ANTA          | 0.08 | 0.10    | -0.02 |
| 15 | CALCA         | 0.10 | 0.07    | 0.03  |
| 16 | PARURO        | 0.10 | 0.12    | -0.01 |
| 17 | ACOMAYO       | 0.08 | 0.09    | -0.01 |
| 18 | PAUCARTAMBO   | 0.23 | 0.11    | 0.12  |
| 19 | CCATCCA       | 0.08 | 0.09    | -0.01 |
| 20 | OLLACHEA      | 0.24 | 0.14    | 0.09  |
| 21 | COMBAPATA     | 0.04 | 0.06    | -0.02 |
| 22 | SICUANI       | 0.06 | 0.08    | -0.02 |
| 23 | MACUSANI      | 0.30 | 0.16    | 0.14  |
| 24 | CAYCAY        | 0.06 | 0.08    | -0.02 |
| 25 | POMACANCHI    | 0.04 | 0.01    | 0.02  |
| 26 | STA_ROSA      | 0.05 | 0.06    | -0.02 |
| 27 | PISAQ         | 0.15 | 0.10    | 0.05  |
| 28 | PERAYOC       | 0.07 | 0.09    | -0.02 |
| 29 | YAURI         | 0.06 | 0.04    | 0.01  |
| 30 | CHUQUIBAMBILI | 0.05 | 0.09    | -0.04 |
| 31 | CRUCERO       | 0.22 | 0.17    | 0.05  |

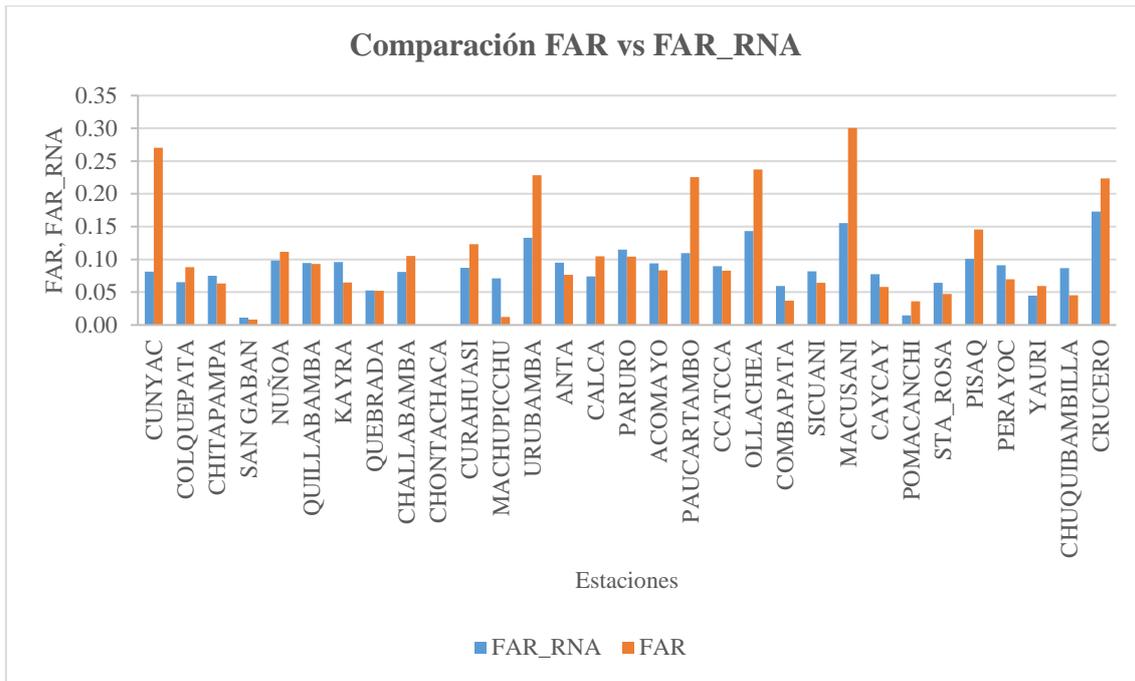


Figura 267. Comparativo de FAR vs FAR\_RNA para la precipitación mensual.

Tabla 168. Cantidad de estaciones CHIRPS mejoradas en la FAR para umbral = 60 mm.

| DESCRIPCIÓN             | CANT. ESTACIONES | PORCENTAJE  |
|-------------------------|------------------|-------------|
| MEJORA FAR              | 14               | 45%         |
| NO MEJORA FAR           | 17               | 55%         |
| <b>TOTAL ESTACIONES</b> | <b>31</b>        | <b>100%</b> |

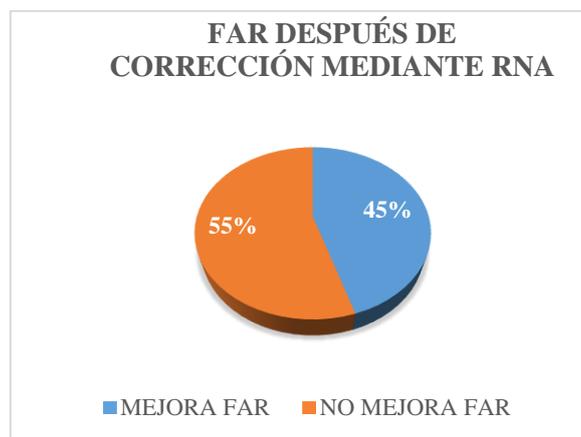
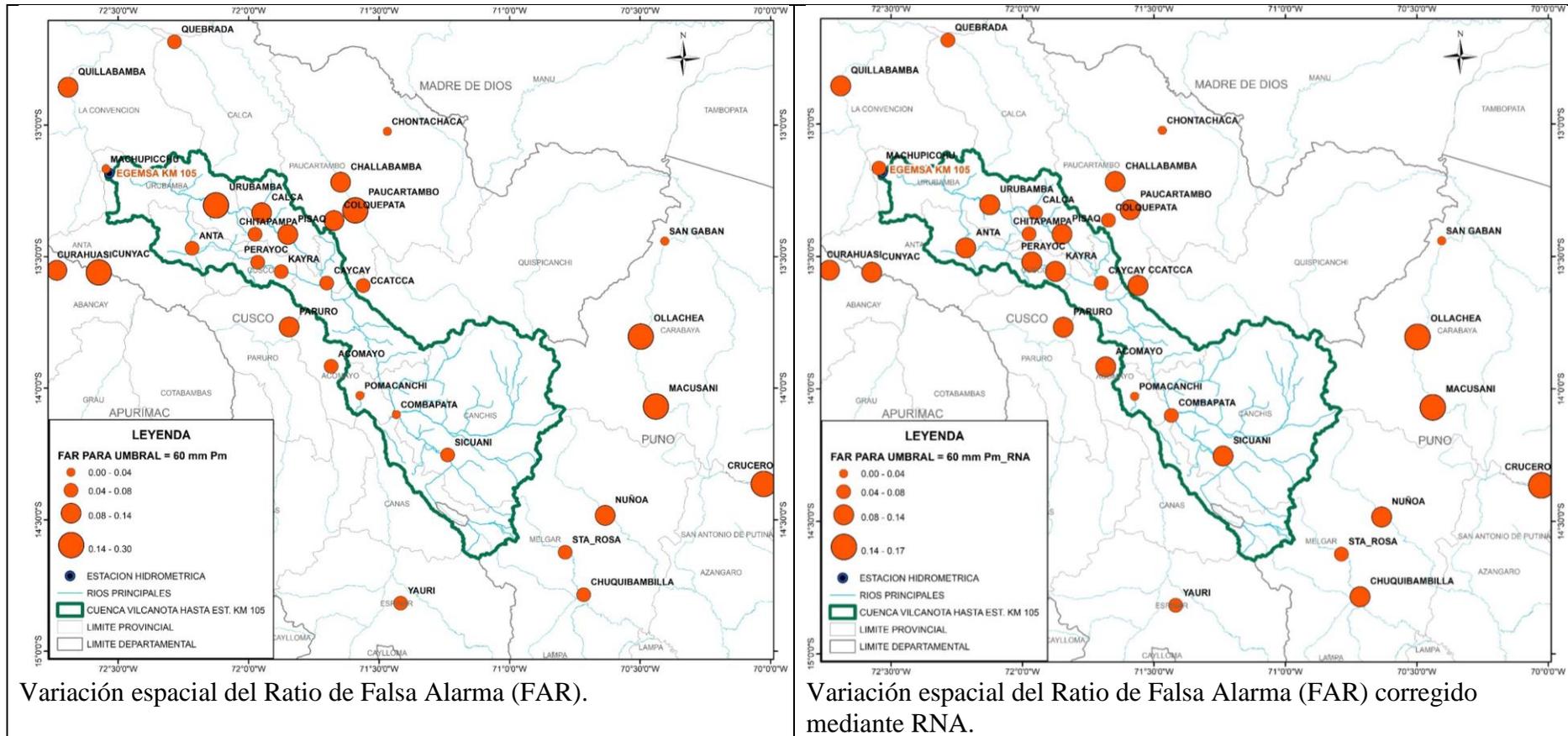


Figura 268. Porcentaje de estaciones CHIRPS mejoradas en la FAR para umbral = 60 mm.



**Figura 269.** Comparativo de variación espacial del Ratio de Falsa Alarma (FAR) de la precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.



- Índice de Detección Crítico (TS)

**Tabla 169.** Índice de Detección Crítico (TS) para umbral = 60 mm precipitación mensual.

| N  | ESTACIONES     | TS   | TS_RNA | DIF  |
|----|----------------|------|--------|------|
| 1  | CUNYAC         | 0.72 | 0.81   | 0.09 |
| 2  | COLQUEPATA     | 0.77 | 0.91   | 0.15 |
| 3  | CHITAPAMPA     | 0.80 | 0.85   | 0.05 |
| 4  | SAN GABAN      | 0.83 | 0.99   | 0.16 |
| 5  | NUÑO A         | 0.82 | 0.85   | 0.04 |
| 6  | QUILLABAMBA    | 0.76 | 0.87   | 0.11 |
| 7  | KAYRA          | 0.84 | 0.86   | 0.03 |
| 8  | QUEBRADA       | 0.83 | 0.88   | 0.05 |
| 9  | CHALLABAMBA    | 0.82 | 0.88   | 0.06 |
| 10 | CHONTACHACA    | 0.75 | 0.75   | 0.00 |
| 11 | CURAHUASI      | 0.80 | 0.81   | 0.01 |
| 12 | MACHUPICCHU    | 0.71 | 0.89   | 0.18 |
| 13 | URUBAMBA       | 0.76 | 0.82   | 0.07 |
| 14 | ANTA           | 0.83 | 0.86   | 0.02 |
| 15 | CALCA          | 0.76 | 0.87   | 0.11 |
| 16 | PARURO         | 0.77 | 0.82   | 0.05 |
| 17 | ACOMAYO        | 0.79 | 0.81   | 0.02 |
| 18 | PAUCARTAMBO    | 0.76 | 0.86   | 0.10 |
| 19 | CCATCCA        | 0.83 | 0.86   | 0.03 |
| 20 | OLLACHEA       | 0.72 | 0.82   | 0.10 |
| 21 | COMBAPATA      | 0.87 | 0.89   | 0.02 |
| 22 | SICUANI        | 0.83 | 0.89   | 0.06 |
| 23 | MACUSANI       | 0.69 | 0.81   | 0.11 |
| 24 | CAYCAY         | 0.83 | 0.86   | 0.03 |
| 25 | POMACANCHI     | 0.84 | 0.90   | 0.06 |
| 26 | STA_ROSA       | 0.85 | 0.87   | 0.02 |
| 27 | PISAQ          | 0.76 | 0.81   | 0.05 |
| 28 | PERAYOC        | 0.73 | 0.84   | 0.11 |
| 29 | YAURI          | 0.84 | 0.91   | 0.08 |
| 30 | CHUQUIBAMBILLA | 0.82 | 0.84   | 0.01 |
| 31 | CRUCERO        | 0.74 | 0.77   | 0.03 |

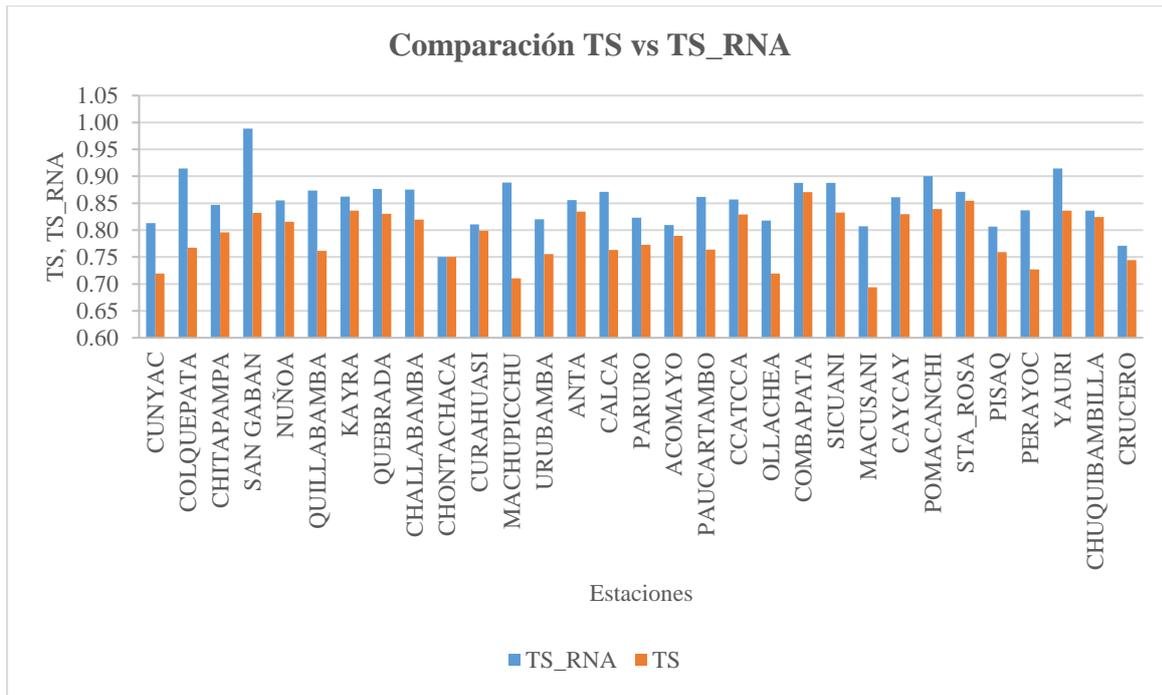


Figura 270. Comparativo de TS vs TS\_RNA para la precipitación mensual.

Tabla 170. Cantidad de estaciones CHIRPS mejoradas en la TS para umbral = 60 mm.

| DESCRIPCIÓN             | CANT. ESTACIONES | PORCENTAJE  |
|-------------------------|------------------|-------------|
| MEJORA TS               | 30               | 97%         |
| NO MEJORA TS            | 1                | 3%          |
| <b>TOTAL ESTACIONES</b> | <b>31</b>        | <b>100%</b> |

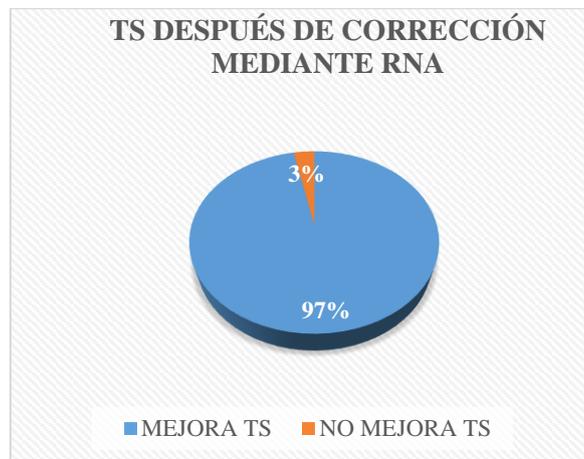
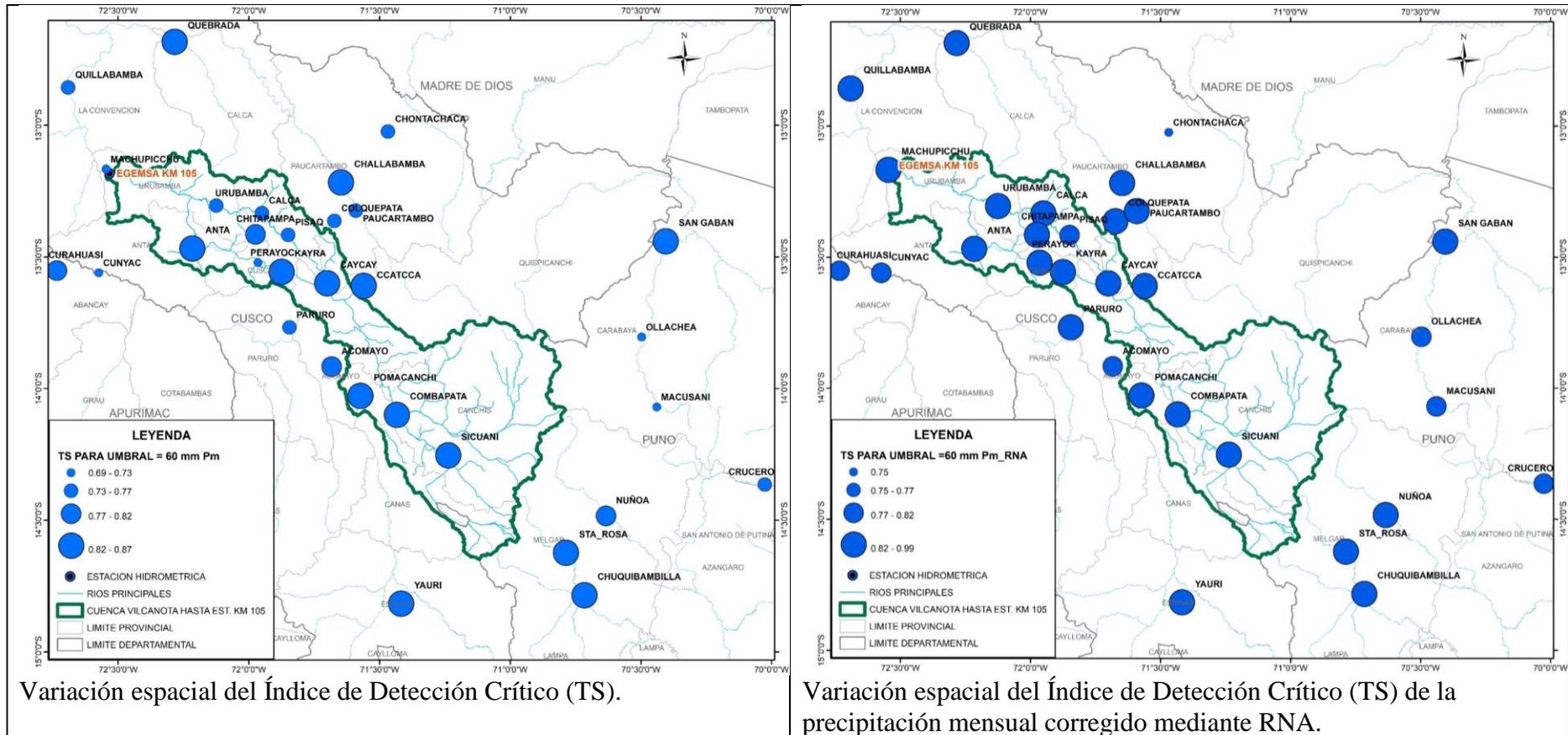


Figura 271. Porcentaje de estaciones CHIRPS mejoradas en la TS para umbral = 60 mm.



**Figura 272.** Comparativo del Índice de Detección Crítico (TS) de la precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.

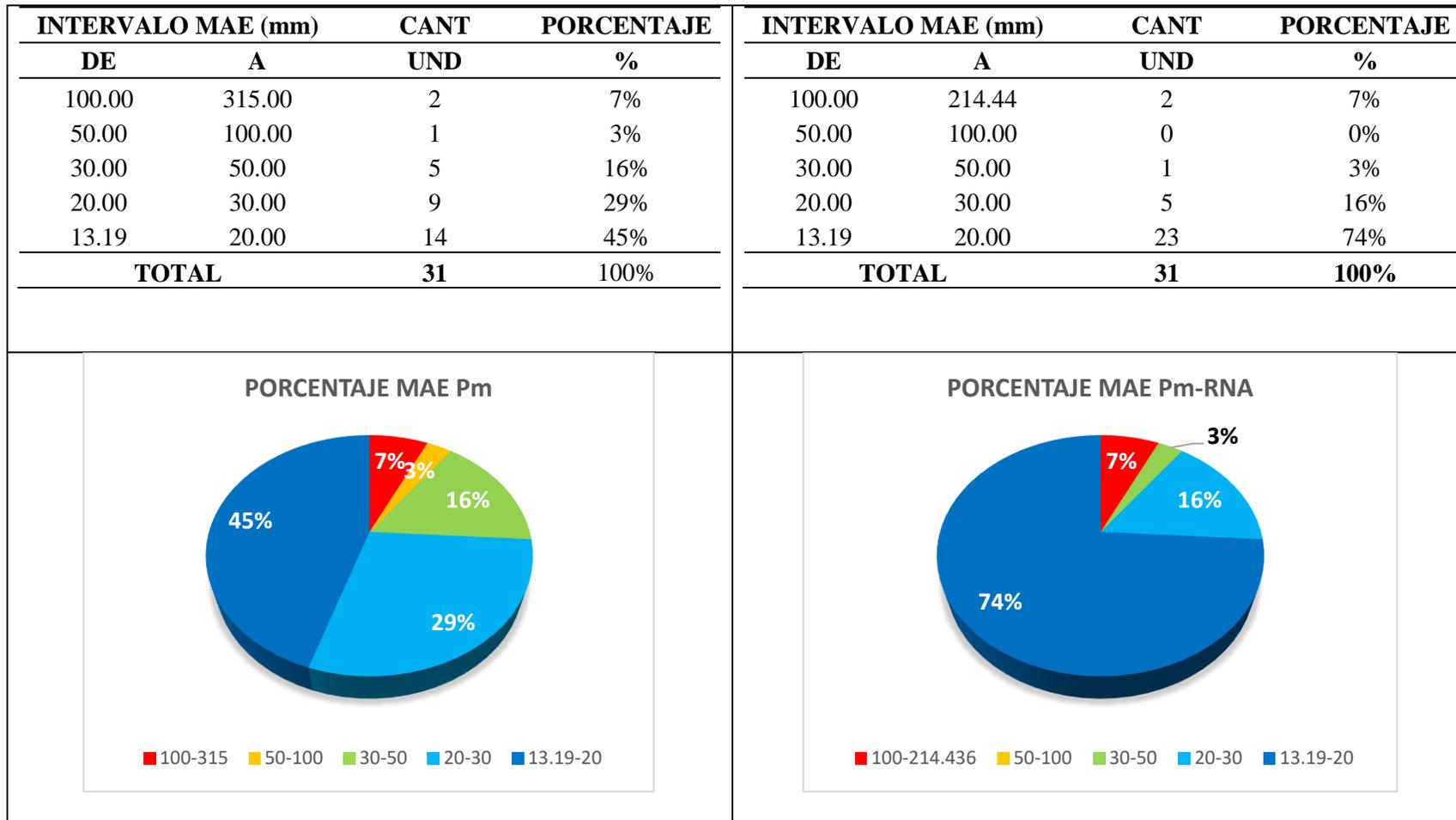


## 4.3.1.2. Estadísticas de comparación por pares.

Tabla 171. Resumen de indicadores de la estadística de comparación por pares.

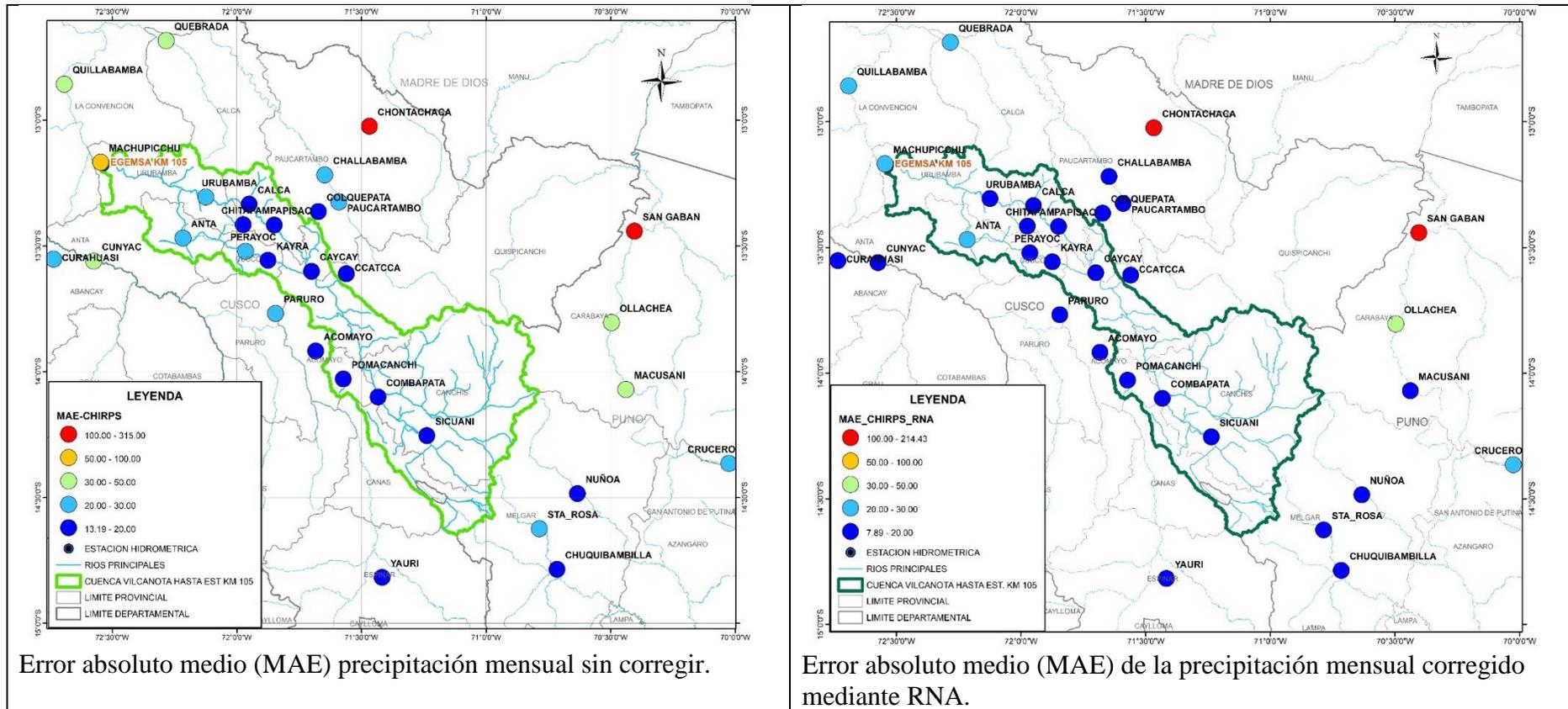
| N  | ESTACIONES     | MAE_CHIRPS_RNA | RMSE_CHIRPS_RNA | PBIAS_CHIRPS_RNA | NSE_CHIRPS_RNA | Pearson_CHIRPS_RNA |
|----|----------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
| 1  | CUNYAC         | 11.975         | 18.404          | 6.400            | 0.821          | 0.909              |
| 2  | COLQUEPATA     | 10.657         | 17.705          | 3.400            | 0.899          | 0.950              |
| 3  | CHITAPAMPA     | 10.406         | 16.301          | 0.000            | 0.916          | 0.958              |
| 4  | SAN GABAN      | 214.435        | 330.715         | -20.300          | 0.135          | 0.505              |
| 5  | NUÑO A         | 12.224         | 20.008          | 0.900            | 0.882          | 0.939              |
| 6  | QUILLABAMBA    | 22.052         | 34.407          | -3.800           | 0.784          | 0.887              |
| 7  | KAYRA          | 10.468         | 17.232          | 2.500            | 0.911          | 0.955              |
| 8  | QUEBRADA       | 24.045         | 37.106          | -1.200           | 0.835          | 0.916              |
| 9  | CHALLABAMBA    | 17.083         | 29.316          | 2.000            | 0.823          | 0.909              |
| 10 | CHONTACHACA    | 162.020        | 245.164         | -27.800          | -0.203         | 0.610              |
| 11 | CURAHUASI      | 17.316         | 26.336          | 5.900            | 0.819          | 0.907              |
| 12 | MACHUPICCHU    | 29.630         | 43.935          | 0.200            | 0.881          | 0.939              |
| 13 | URUBAMBA       | 10.486         | 14.876          | 6.700            | 0.881          | 0.942              |
| 14 | ANTA           | 21.178         | 35.493          | 0.700            | 0.821          | 0.906              |
| 15 | CALCA          | 7.891          | 12.198          | 3.100            | 0.933          | 0.967              |
| 16 | PARURO         | 14.451         | 24.463          | -0.800           | 0.876          | 0.936              |
| 17 | ACOMAYO        | 15.786         | 26.766          | -2.900           | 0.845          | 0.920              |
| 18 | PAUCARTAMBO    | 10.891         | 16.628          | 3.000            | 0.889          | 0.944              |
| 19 | CCATCCA        | 11.580         | 17.905          | 3.900            | 0.891          | 0.945              |
| 20 | OLLACHEA       | 30.558         | 45.194          | 8.100            | 0.714          | 0.854              |
| 21 | COMBAPATA      | 12.091         | 19.125          | 0.600            | 0.902          | 0.950              |
| 22 | SICUANI        | 11.323         | 17.229          | 4.400            | 0.908          | 0.955              |
| 23 | MACUSANI       | 17.453         | 26.850          | 13.700           | 0.727          | 0.872              |
| 24 | CAYCAY         | 11.201         | 17.737          | 2.300            | 0.886          | 0.942              |
| 25 | POMACANCHI     | 12.719         | 21.364          | 1.400            | 0.896          | 0.948              |
| 26 | STA_ROSA       | 15.740         | 23.978          | 2.400            | 0.878          | 0.937              |
| 27 | PISAQ          | 12.488         | 21.293          | -0.500           | 0.825          | 0.908              |
| 28 | PERAYOC        | 15.539         | 23.652          | -0.700           | 0.882          | 0.940              |
| 29 | YAURI          | 14.070         | 21.901          | 0.900            | 0.909          | 0.954              |
| 30 | CHUQUIBAMBILLA | 12.777         | 21.560          | -1.200           | 0.879          | 0.938              |
| 31 | CRUCERO        | 20.208         | 32.574          | 12.300           | 0.726          | 0.862              |

En la **Figura 273** y las siguientes figuras, se muestran las mejoras de la precipitación CHIRPS\_RNA, con respecto a CHIRPS.



**Figura 273.** Comparativo del error absoluto medio (MAE) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA, las estaciones: Curahuasi, Cunyac, Urubamba, Perayoc, Challabamba, Paucartambo, Paruro, Macusani y Santa Rosa; reducen el MAE < 20 mm. En general todas reducen el MAE, excepto las estaciones: Chontachaca, San Gaban, Ollachea y Crucero.



**Figura 274.** Comparativo de Variación espacial del error absoluto medio (MAE) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.

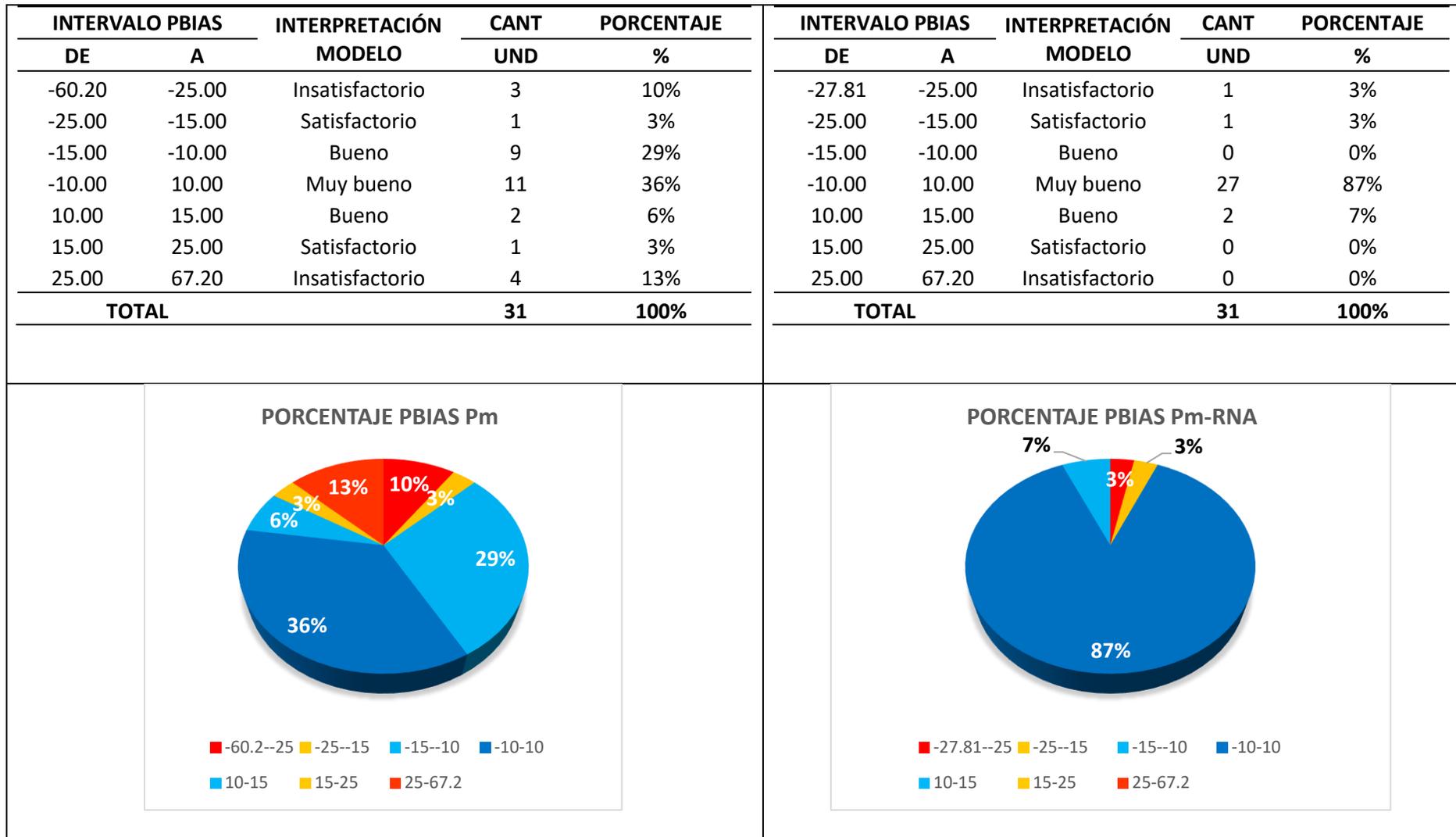
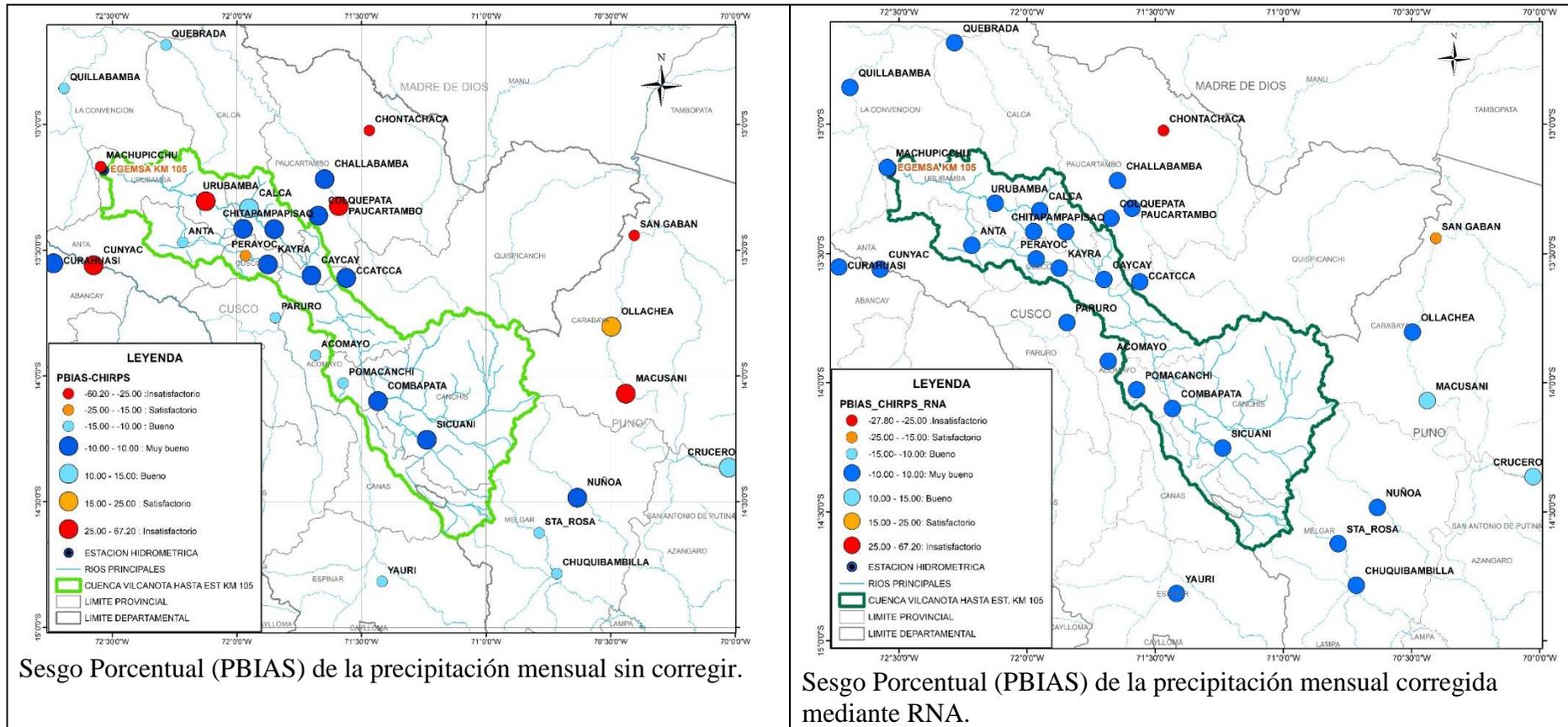
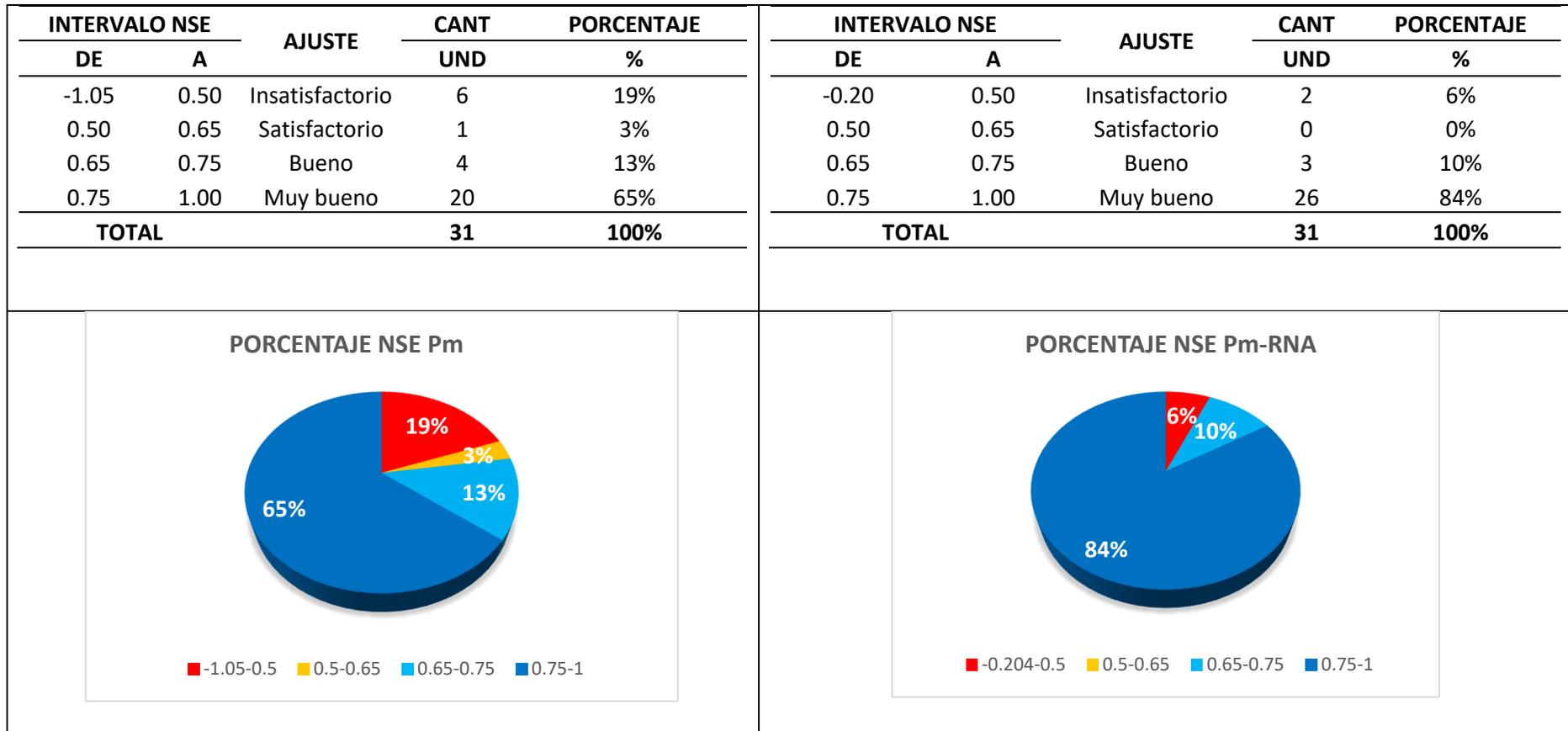


Figura 275. Comparativo del Sesgo Porcentual (PBIAS) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA se logra mejorar el sesgo (PBIAS) con una estimación muy buena en todas las estaciones excepto: Chontachaca, San Gaban, Macusani y Crucero.

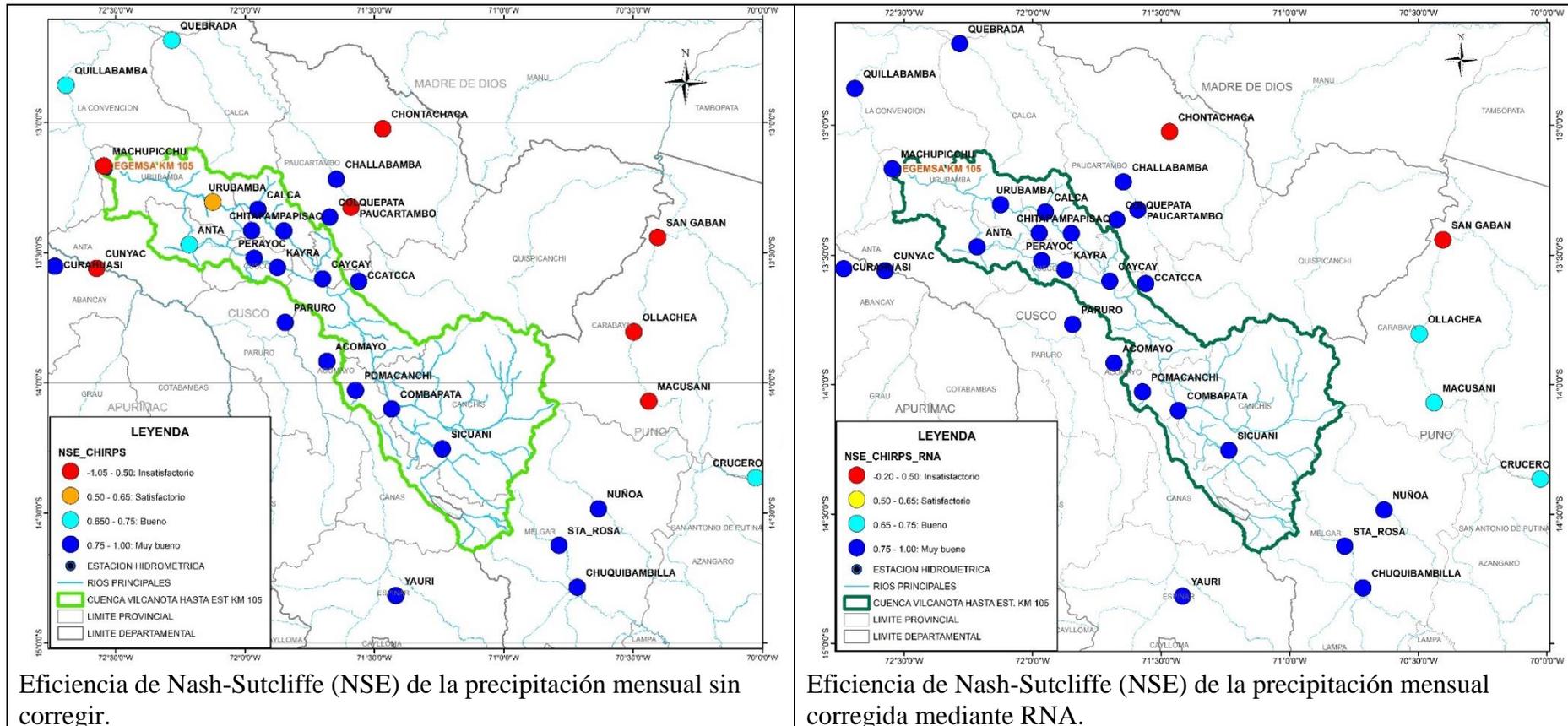


**Figura 276.** Comparativo de Variación espacial del Sesgo Porcentual (PBIAS) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.



**Figura 277.** Comparativo de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA, se logra mejorar le eficiencia de la estimación (NSE), como muy buena en todas las estaciones excepto: Chontachaca, San Gaban, Ollachea, Macusani y Crucero.



**Figura 278.** Comparativo de Variación espacial de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA

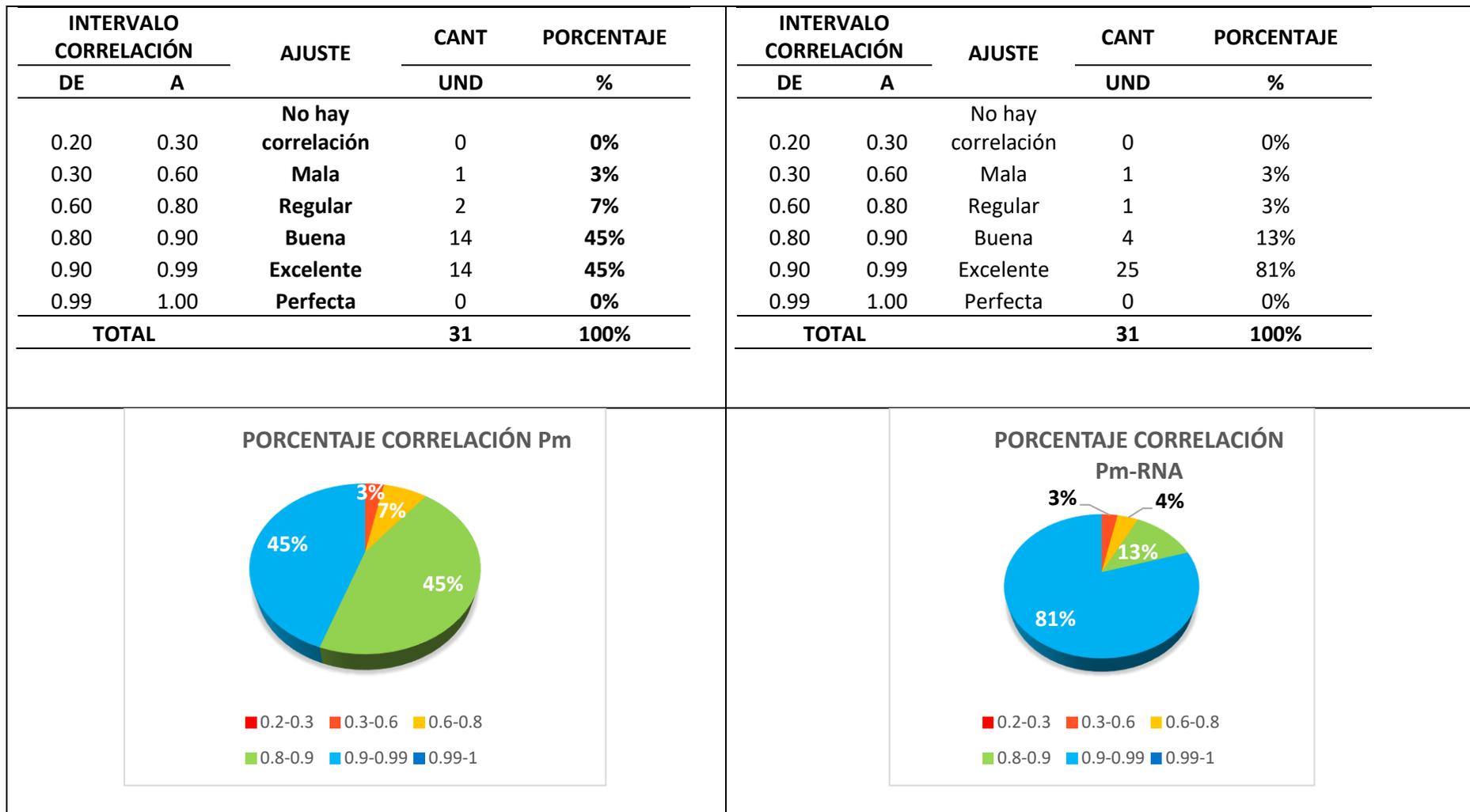


Figura 279. Comparativo de Variación espacial de la Correlación de Pearson (r) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.

La precipitación mensual corregido mediante RNA se mejora la correlación (r), como excelente en la mayoría de las estaciones excepto: Quillabamba, Chontachaca, San Gaban, Ollachea, Macusani y Crucero.

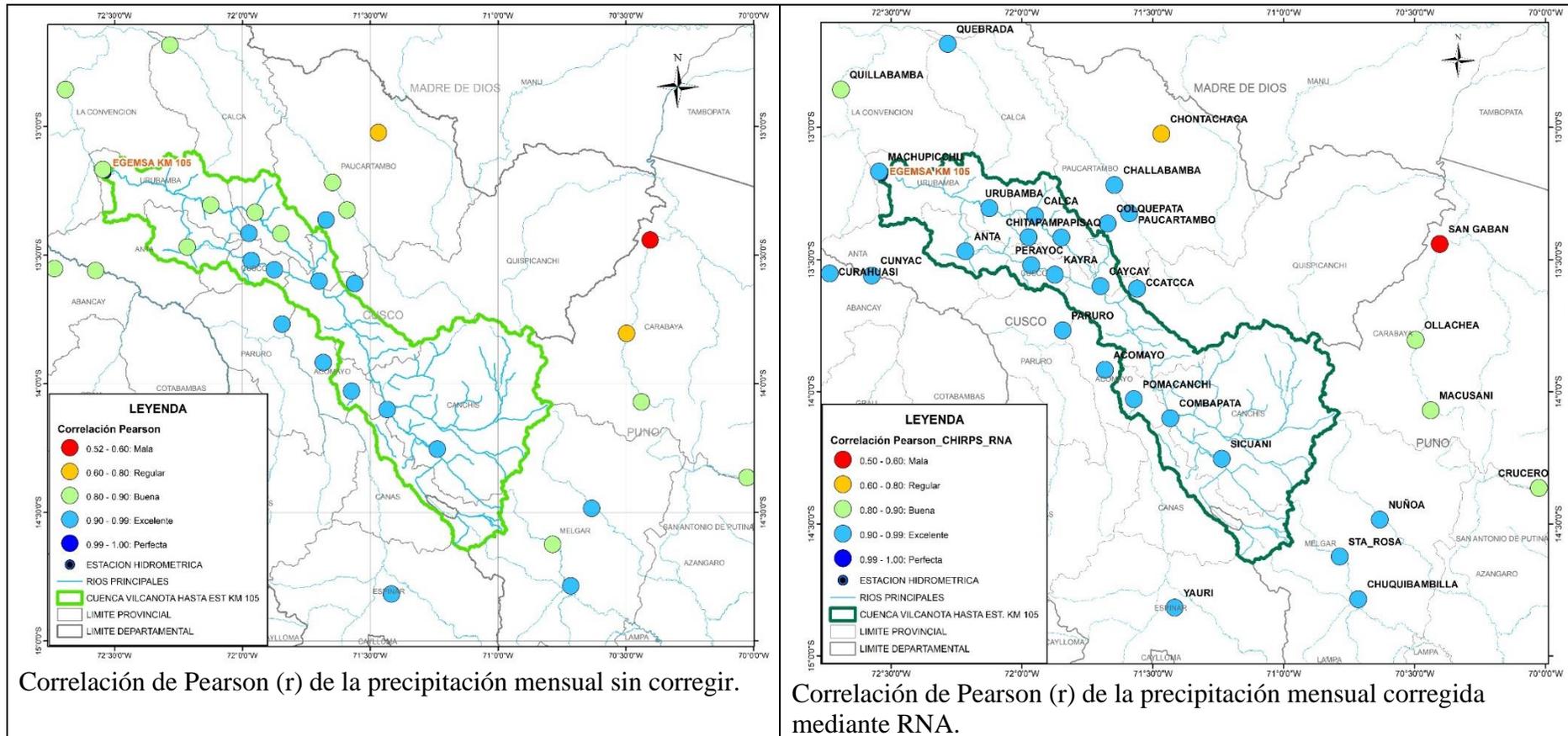
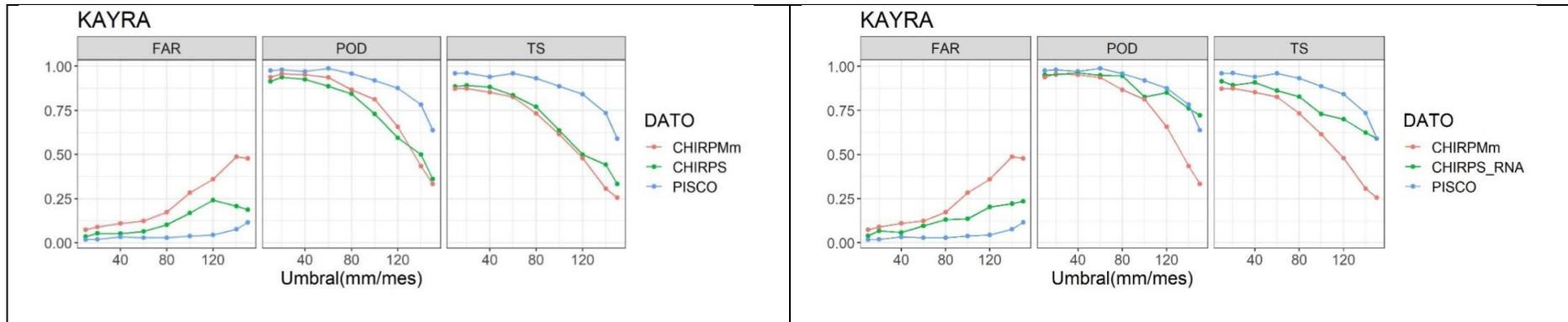


Figura 280. Comparativo de Variación espacial de la Correlación de Pearson (r) precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA.

### 4.3.1.3. Comparación con otros productos de precipitación mensual corregida mediante RNA

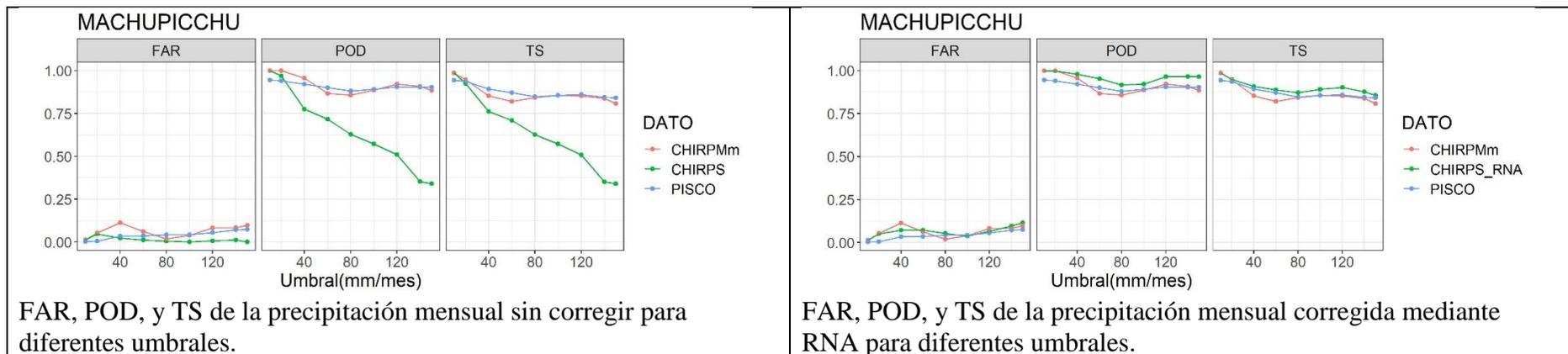
#### Resumen de Estadísticos de validación categórica

Según la **Figura 281**, con la corrección mediante RNA se logra mejorar en gran medida el POD, TS y variación mínima de la FAR.



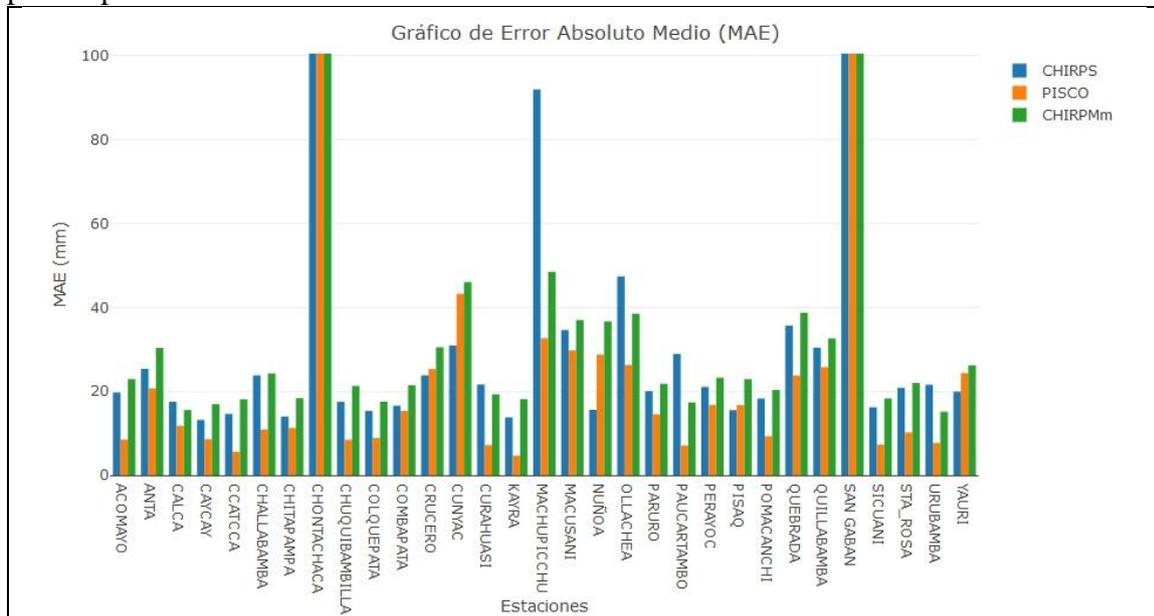
**Figura 281.** FAR, POD, y TS de la precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA para diferentes umbrales - Kayra.

En la estación Machupicchu la corrección mediante RNA, logra mejoras sustanciales en el FAR, POD y TS, según se indica en la **Figura 282**.

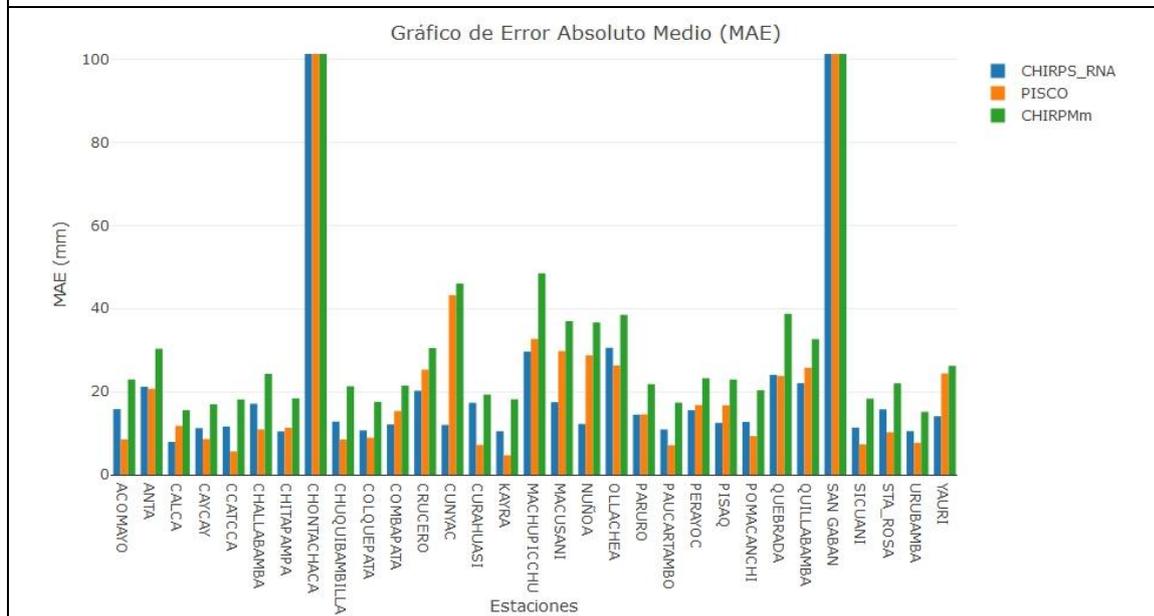


**Figura 282.** FAR, POD, y TS de la precipitación mensual sin corregir y corregido mediante RNA para diferentes umbrales - Machupicchu.

Se compara el producto CHIRPS\_RNA con los productos PISCO y CHIRPM, obteniendo que las estaciones: Calca, Chitapampa, Combapata, Crucero, Cunyac, Machupicchu, Macusani, Nuñoa, Paruro, Perayoc, PISAQ, Quillabamba y Yauri; a parte de reducir el MAE, logran ser el primer producto con MAE mínimo.



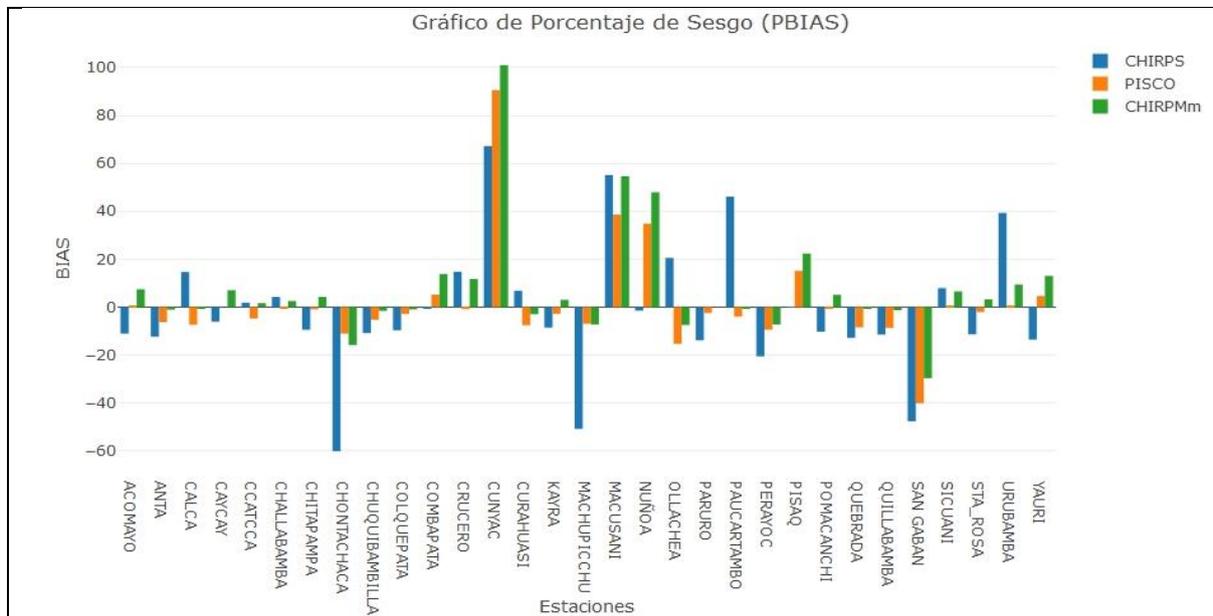
Error absoluto medio (MAE) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.



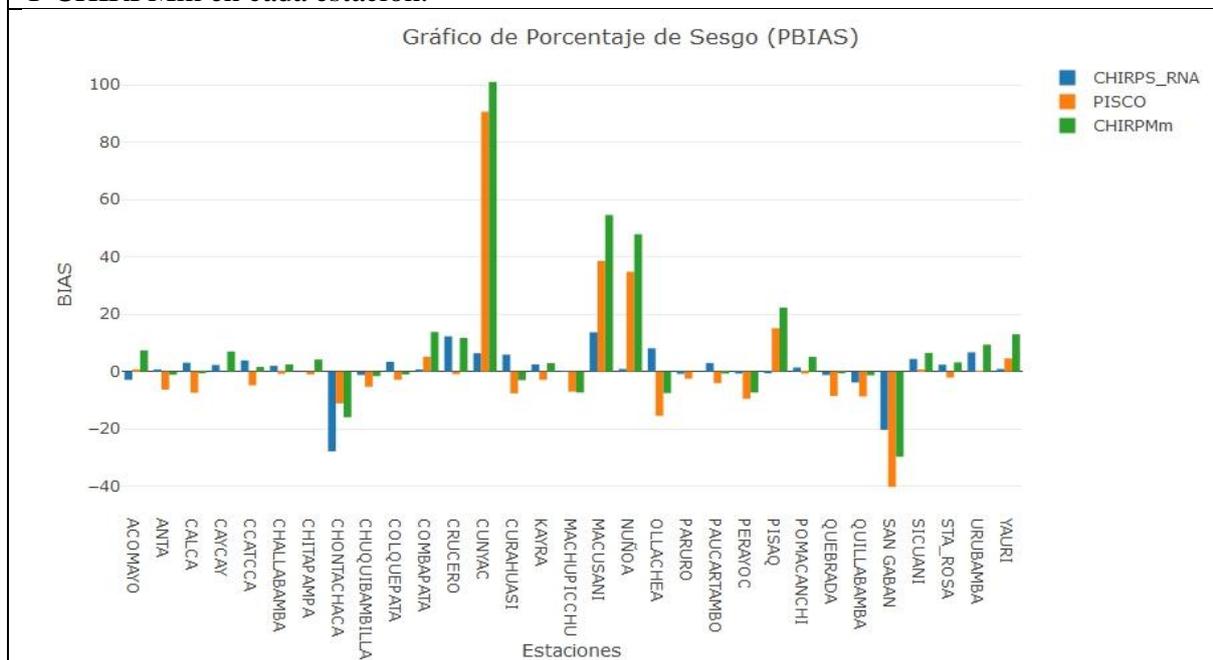
Error absoluto medio (MAE) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS\_RNA, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

**Figura 283.** Comparativo de Error absoluto medio (MAE) de la precipitación mensual del producto CHIRPS (sin corregir) y CHIRPS\_RNA (corregido) con los productos, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

Según al **Figura 284**, la corrección mediante RNA, permite la reducción del PBIAS en todas las estaciones, siendo mas evidente en las estaciones: Anta, Calca, Chitapampa, Chuquibambilla, Combapata, Cunyac, Machupicchu, Macusani, Nuñoa, Paruro, Paucartambo, Perayoc, PISAQ, Quebrada, San Gaban y Yauri.



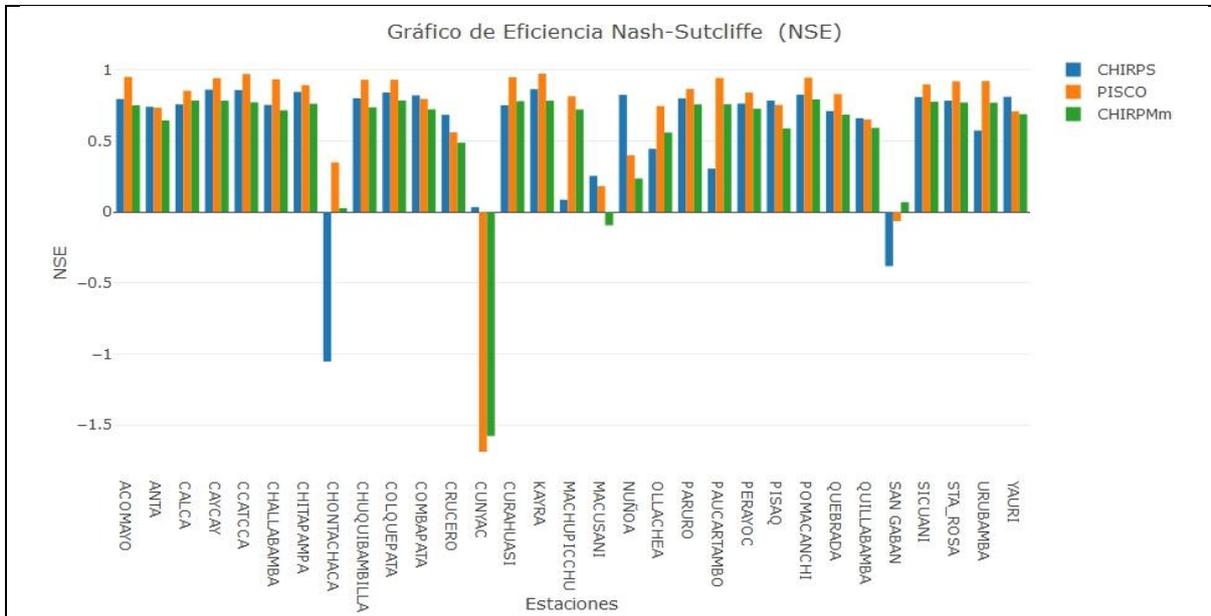
Porcentaje de sesgo (PBIAS) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.



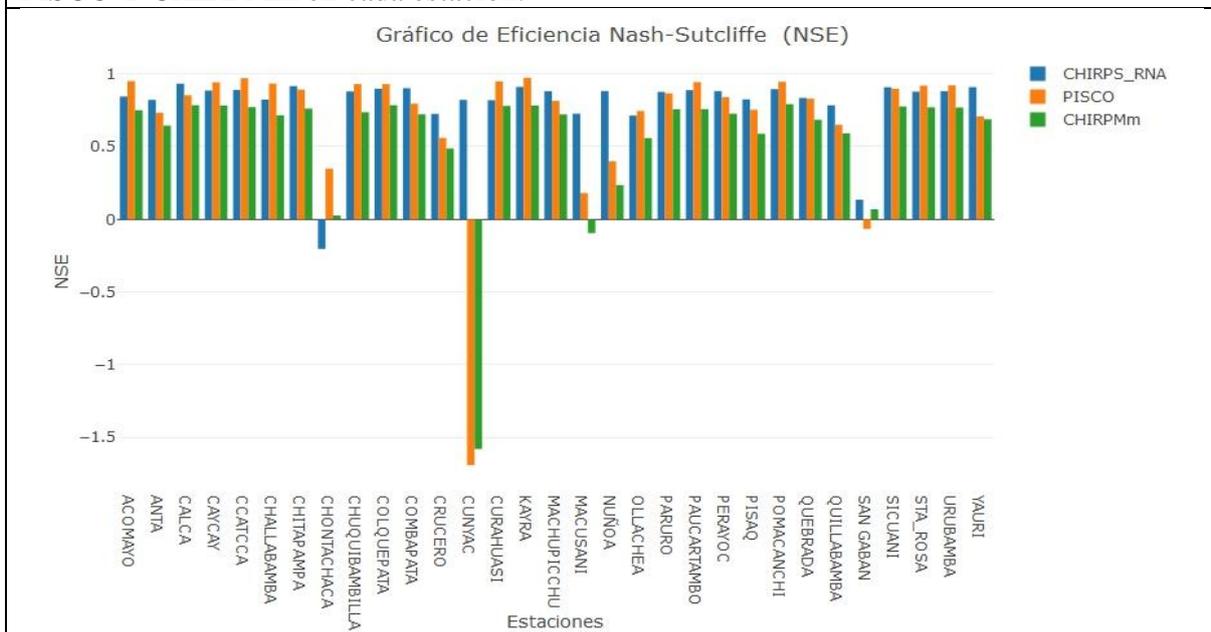
Porcentaje de sesgo (PBIAS) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS\_RNA, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

**Figura 284.** Comparativo del Porcentaje de sesgo (PBIAS) de la precipitación mensual del producto CHIRPS (sin corregir) y CHIRPS\_RNA (corregido), con PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

Con la corrección mediante RNA, según la **Figura 285**, se mejora la la eficiencia de estimación (NSE) de las estaciones: Anta, Calca, Chitapampa, Combapata, Crucero, Cunyac, Machupicchu, Macusani, Nuñoa, Paruro, Perayoc, PISAQ, Quebrada, Quillabamba, San Gaban, Sicuani y Yauri, siendo incluso mejor que los productos PISCO y CHIRPM.



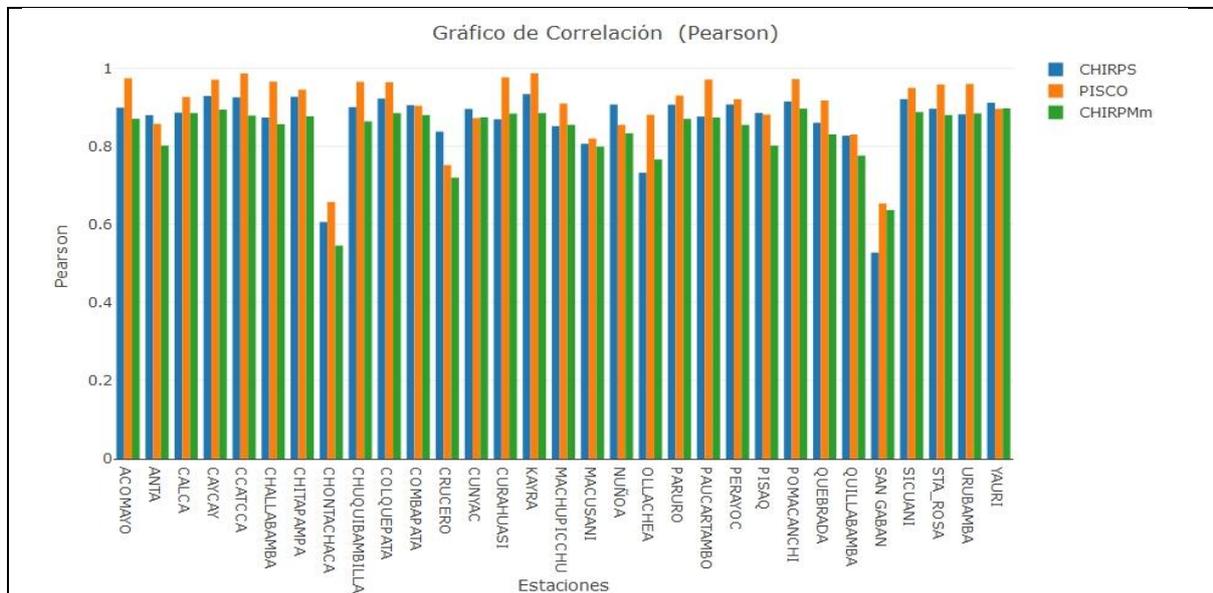
Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.



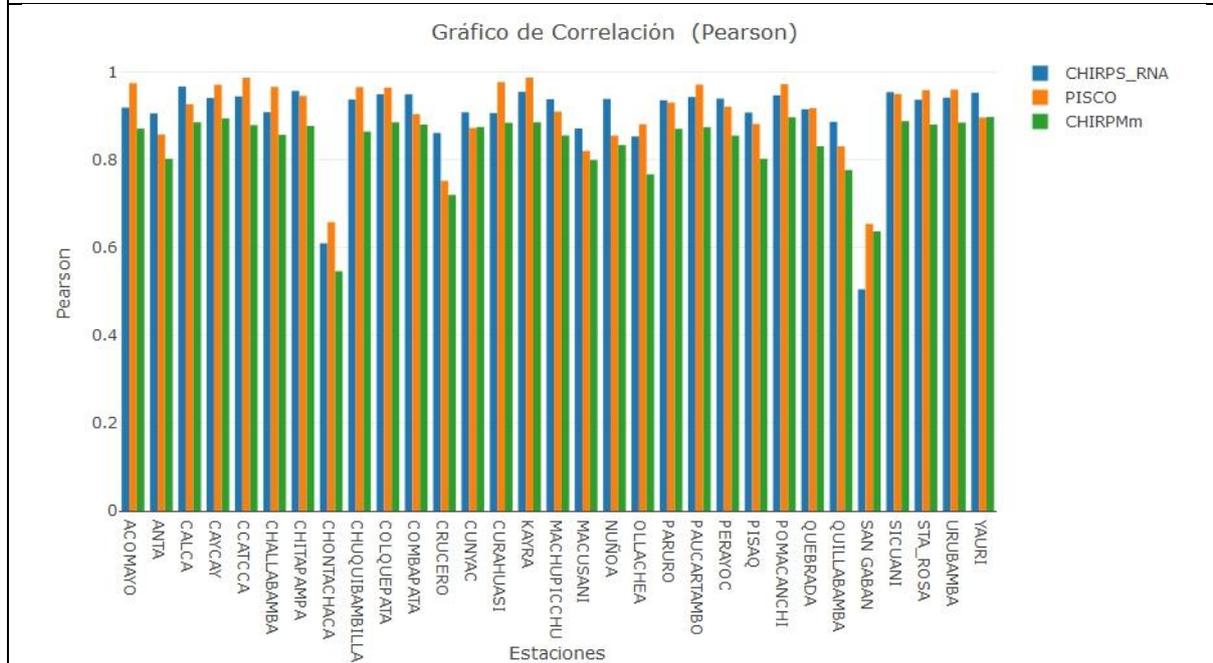
Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS\_RNA, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

**Figura 285.** Comparativo de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación mensual del producto CHIRPS (sin corregir) y CHIRPS\_RNA (corregido) con los productos, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

En la correlación el producto CHIRPS\_RNA, muestra mejor resultado en las estaciones: Anta, Calca, Chitapampa, Combapata, Crucero, Cunyac, Machupicchu, Macusani, Nuñoa, Paruro, Perayoc, PISAQ, Quillabamba, Sicuani y Yauri; a tal punto que muestran mejor correlación que los productos PISCO y CHIRPM.



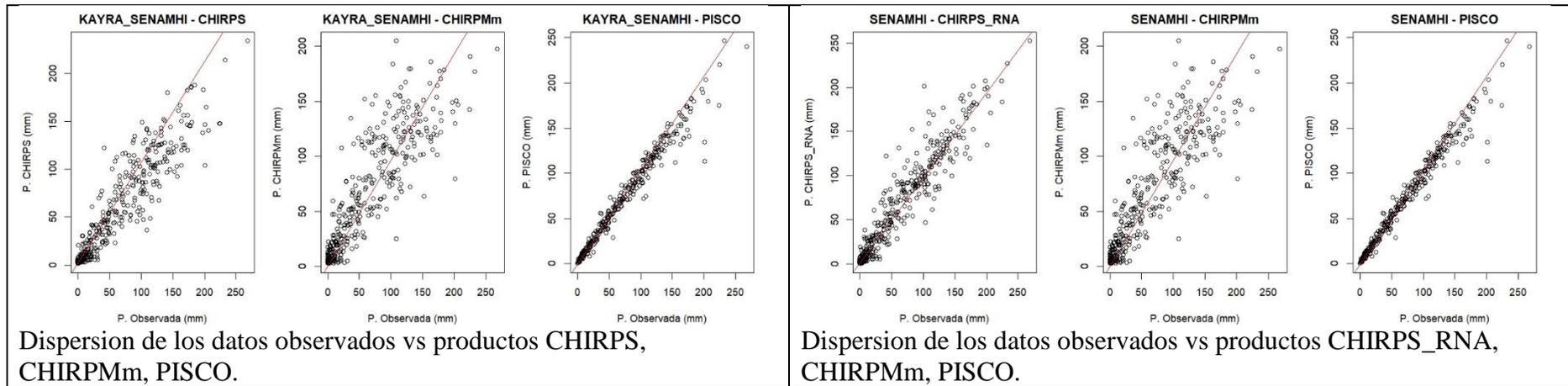
Correlación Pearson (r) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.



Correlación Pearson (r) de la precipitación mensual de los productos CHIRPS\_RNA, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

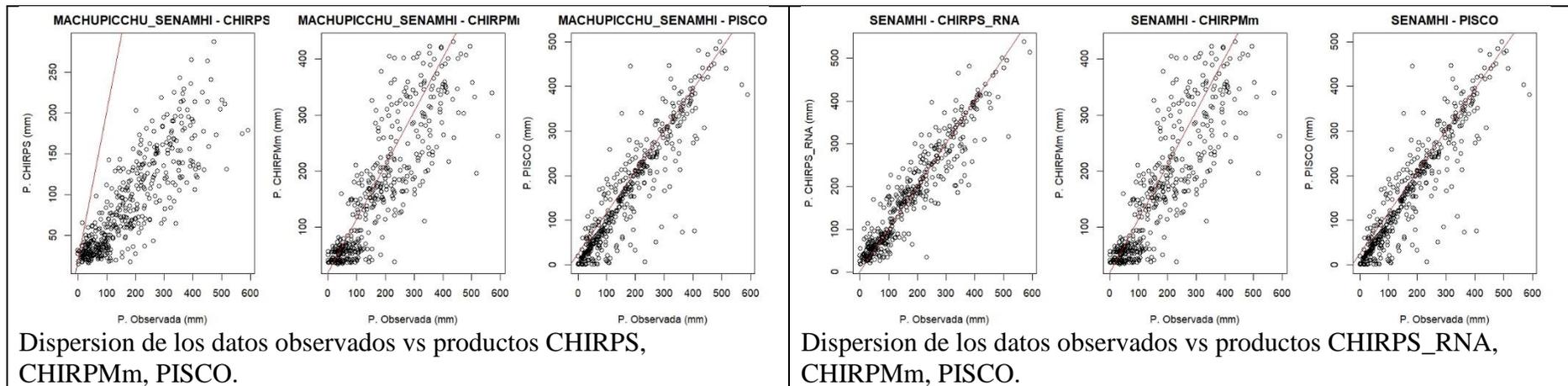
**Figura 286.** Comparativo de la Correlación Pearson (r) de la precipitación mensual del producto CHIRPS (sin corregir) y CHIRPS\_RNA (corregido) con los productos, PISCO Y CHIRPMm en cada estación.

En la **Figura 287**, se puede observar que el producto PISCO posee mejor dispersión que los otros productos en ambos casos.



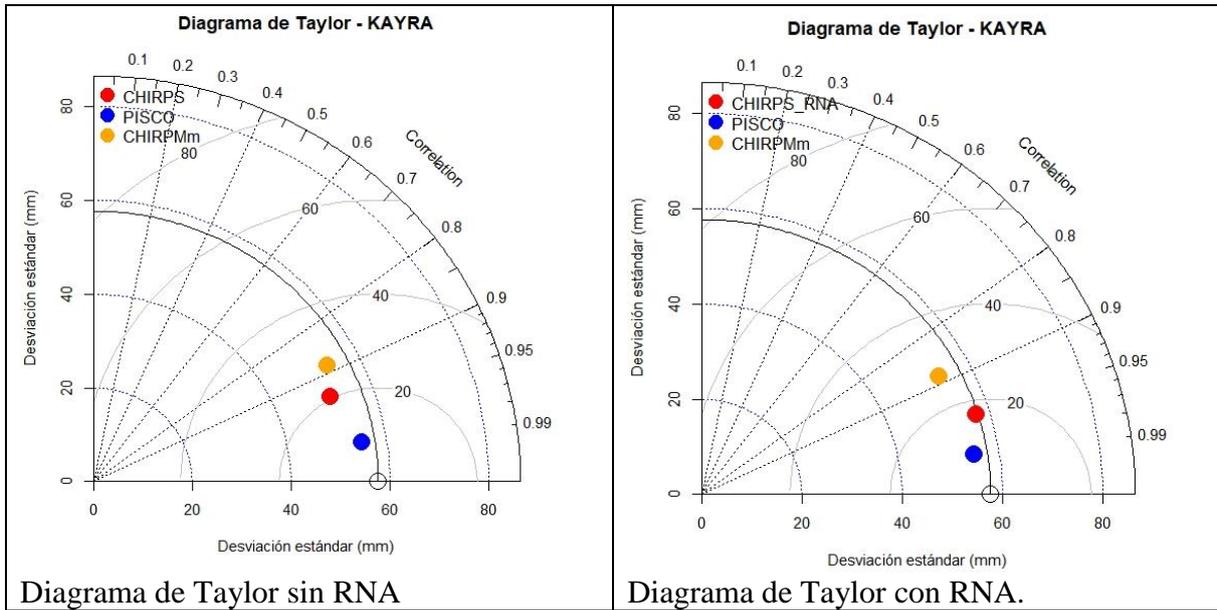
**Figura 287.** Dispersión de precipitación mensual antes y después de la corrección mediante-Kayra.

En la **Figura 288**, la dispersión del producto CHIRPS mejora con la corrección mediante RNA, incluso mejor que el producto PISCO.



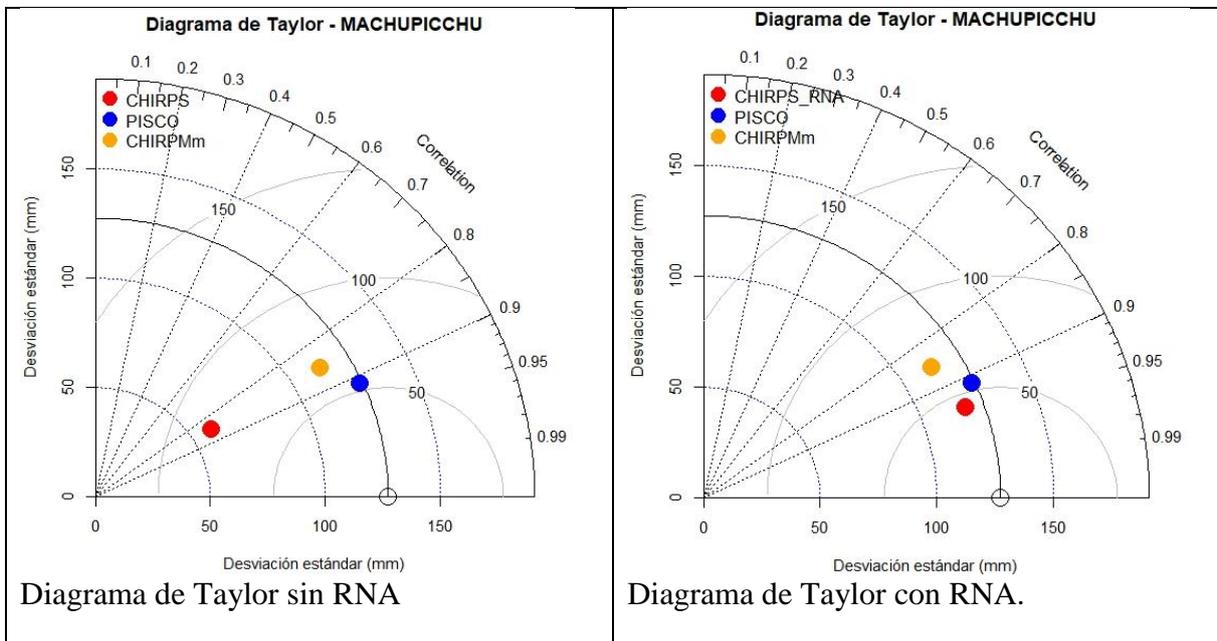
**Figura 288.** Dispersión de precipitación mensual antes y después de la corrección mediante RNA-Machupicchu.

En la Figura. se muestra la mejora del producto CHIRPS en los indicadores de RMSE, Desviación estándar y Correlación, pero sigue siendo el segundo con resultados óptimos.



**Figura 289.** Comparativo del producto CHIRPS y CHIRPS\_RNA con los productos PISCO y CHIRPM-Estación Kayra.

En la Figura. se muestra la mejora del producto CHIRPS en los indicadores de RMSE, Desviación estándar y Correlación, y se logra que sea el primero con resultados óptimos.



**Figura 290.** Comparativo del producto CHIRPS y CHIRPS\_RNA con los productos PISCO y CHIRPM-estacion Machupicchu.



#### 4.3.1.4. Estadísticos de validación de datos multimensuales corregidos con RNA

- **MAE:** Según la **Figura 192** y **Figura 193**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **MAE<40 mm**, para los meses de abril y mayo, junio, julio y agosto.
  - **MAE<50 mm**, para los meses de febrero, marzo y setiembre.
  - **MAE<100 mm**, para los meses de enero, octubre y noviembre.
  - **MAE<150 mm**, para el mes de diciembre.
- **PBIAS (sesgo):** según la **Figura 194** y **Figura 195**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **-10<PBIAS<10 (sesgo muy bueno)**, para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril.
  - **Sesgo muy bueno, bueno, satisfactorio e insatisfactorio**, para los meses de mayo y junio (sobrestimación), julio y agosto (sobrestimación y subestimación), setiembre (subestimación).
- **NSE:** según la **Figura 196** y **Figura 197**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **NSE (Ajuste)**, bueno, satisfactorio e insatisfactorio, para los meses de enero, febrero, marzo, abril setiembre, octubre y diciembre.
  - **NSE (Ajuste)**, satisfactorio e insatisfactorio según cada estación meteorológica para los meses de mayo, junio, julio y agosto.
- **CORRELACIÓN r:** según la **Figura 198** y **Figura 199**, excepto las estaciones se tiene:
  - **Correlación excelente, buena, regular**, para los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre.
  - **Correlación regular a mala**, para todos los meses.

### 4.3.2. Precipitación estacional

Estadísticos de validación de datos estacionales corregidas mediante RNA.

Estadísticas de comparación por pares.

**Tabla 172.** Resumen de indicadores de la estadística de comparación por pares precipitación estacional corregida mediante RNA.

| N  | ESTACIONES     | MAE_CHIRPS_RNA | RMSE_CHIRPS_RNA | PBIAS_CHIRPS_RNA | NSE_CHIRPS_RNA | Pearson_CHIRPS_RNA |
|----|----------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
| 1  | CUNYAC         | 26.015         | 35.707          | 6.600            | 0.884          | 0.944              |
| 2  | COLQUEPATA     | 22.306         | 34.116          | 2.800            | 0.940          | 0.972              |
| 3  | CHITAPAMPA     | 20.428         | 27.709          | -0.500           | 0.962          | 0.981              |
| 4  | SAN GABAN      | 524.046        | 780.379         | -20.900          | 0.021          | 0.524              |
| 5  | NUÑO A         | 24.434         | 36.965          | 0.800            | 0.931          | 0.965              |
| 6  | QUILLABAMBA    | 49.367         | 71.640          | -4.200           | 0.841          | 0.920              |
| 7  | KAYRA          | 20.546         | 29.630          | 2.000            | 0.958          | 0.980              |
| 8  | QUEBRADA       | 45.217         | 61.624          | -1.400           | 0.922          | 0.961              |
| 9  | CHALLABAMBA    | 36.028         | 53.613          | 1.900            | 0.899          | 0.949              |
| 10 | CHONTACHACA    | 417.449        | 571.706         | -28.200          | -0.436         | 0.720              |
| 11 | CURAHUASI      | 33.699         | 47.899          | 5.700            | 0.902          | 0.952              |
| 12 | MACHUPICCHU    | 66.342         | 89.933          | 0.000            | 0.917          | 0.958              |
| 13 | URUBAMBA       | 21.986         | 28.328          | 6.200            | 0.932          | 0.970              |
| 14 | ANTA           | 45.528         | 70.127          | 0.300            | 0.882          | 0.939              |
| 15 | CALCA          | 15.880         | 21.043          | 2.600            | 0.968          | 0.985              |
| 16 | PARURO         | 33.799         | 49.091          | -0.800           | 0.923          | 0.961              |
| 17 | ACOMAYO        | 33.670         | 51.404          | -2.800           | 0.902          | 0.951              |
| 18 | PAUCARTAMBO    | 21.341         | 28.912          | 2.700            | 0.945          | 0.973              |
| 19 | CCATCCA        | 22.410         | 32.241          | 3.800            | 0.941          | 0.971              |
| 20 | OLLACHEA       | 61.540         | 86.187          | 8.400            | 0.822          | 0.917              |
| 21 | COMBAPATA      | 25.180         | 39.052          | 0.300            | 0.934          | 0.967              |
| 22 | SICUANI        | 23.389         | 34.162          | 4.300            | 0.942          | 0.972              |
| 23 | MACUSANI       | 34.580         | 45.752          | 13.300           | 0.877          | 0.952              |
| 24 | CAYCAY         | 23.463         | 35.803          | 1.900            | 0.924          | 0.962              |
| 25 | POMACANCHI     | 25.092         | 39.591          | 1.200            | 0.941          | 0.972              |
| 26 | STA_ROSA       | 36.608         | 50.120          | 2.600            | 0.909          | 0.954              |
| 27 | PISAQ          | 24.504         | 40.555          | -1.500           | 0.889          | 0.943              |
| 28 | PERAYOC        | 29.800         | 41.736          | -1.000           | 0.938          | 0.970              |
| 29 | YAURI          | 29.214         | 40.125          | 1.000            | 0.953          | 0.976              |
| 30 | CHUQUIBAMBILLA | 28.052         | 40.048          | -1.200           | 0.928          | 0.964              |
| 31 | CRUCERO        | 47.410         | 75.341          | 11.900           | 0.758          | 0.884              |

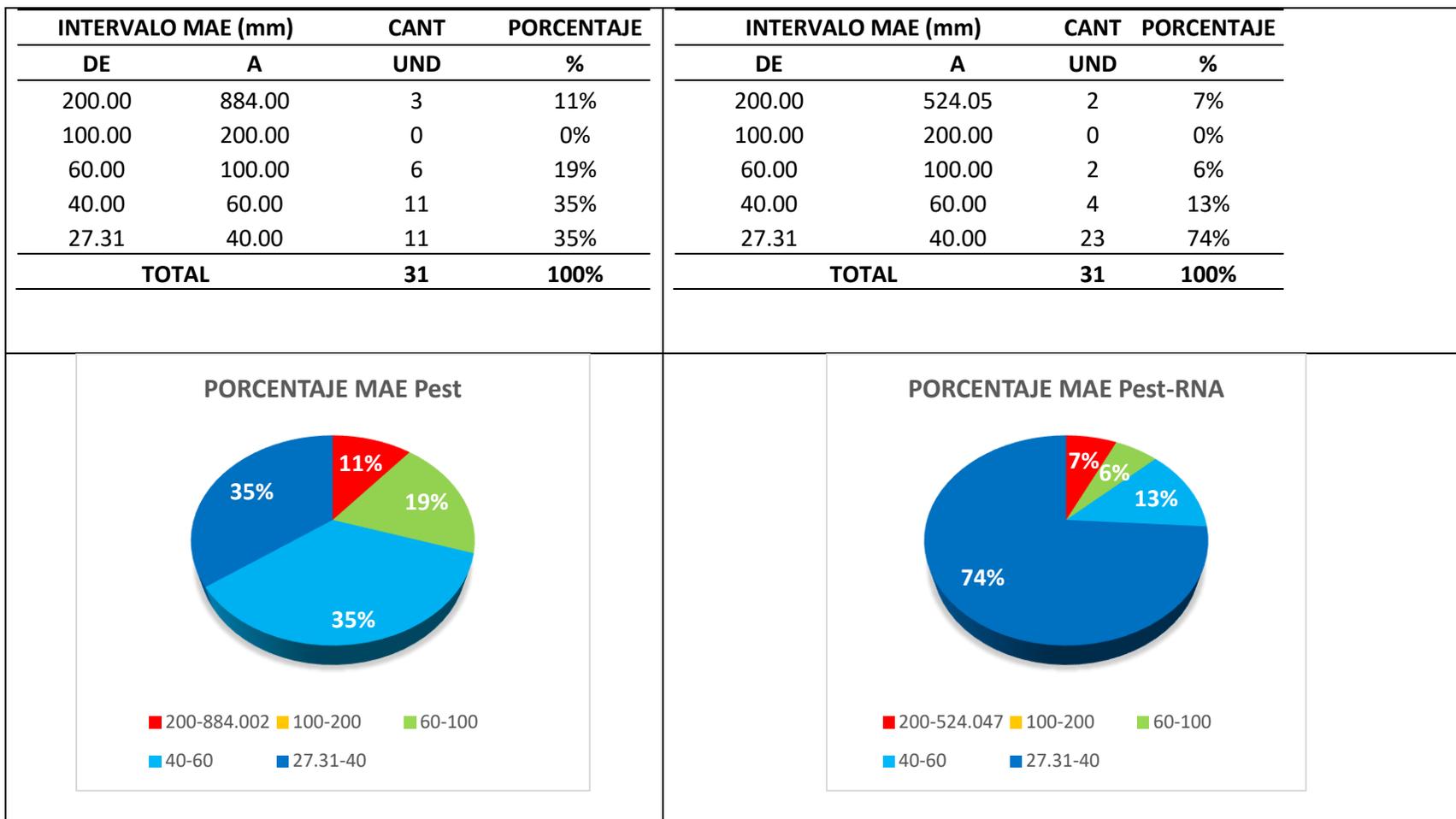
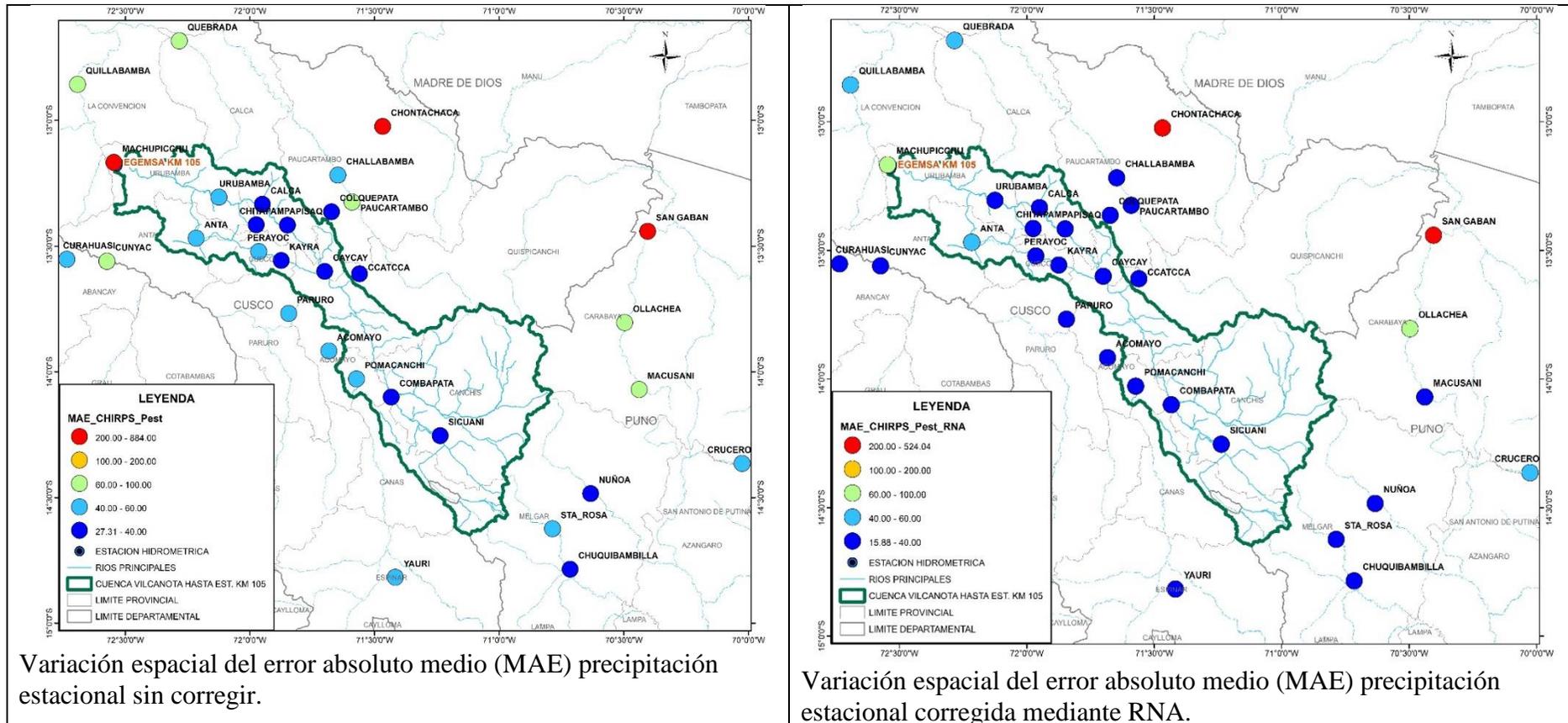
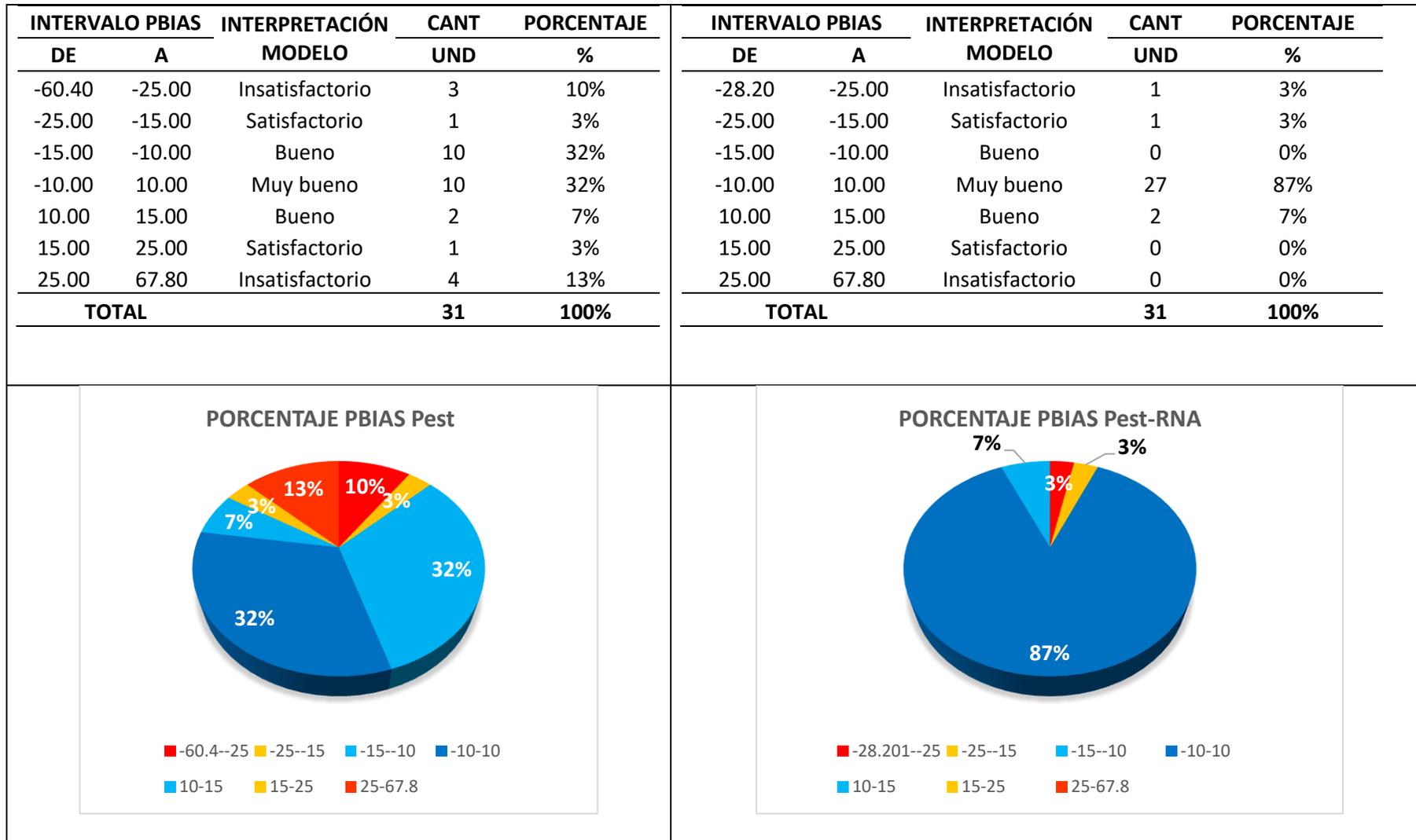


Figura 291. Comparativo del error absoluto medio (MAE) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA, las estaciones: Curahuasi, Cunyac, Urubamba, Perayoc, Challabamba, Paucartambo, Paruro, Acomayo, Pomacanchi, Yauri, Santa Rosa y Macusani; reducen el MAE < 40 mm. En general la mayoría reducen el MAE, excepto las estaciones: Chontachaca, San Gaban, Ollachea y Crucero, que se mantienen en el mismo intervalo.



**Figura 292.** Comparativo de la Variación espacial del error absoluto medio (MAE) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.



**Figura 293.** Comparativo del Sesgo Porcentual (PBIAS) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA se logra mejorar el sesgo (PBIAS) con una estimación muy buena en todas las estaciones excepto: Chontachaca, San Gaban, Macusani y Crucero.

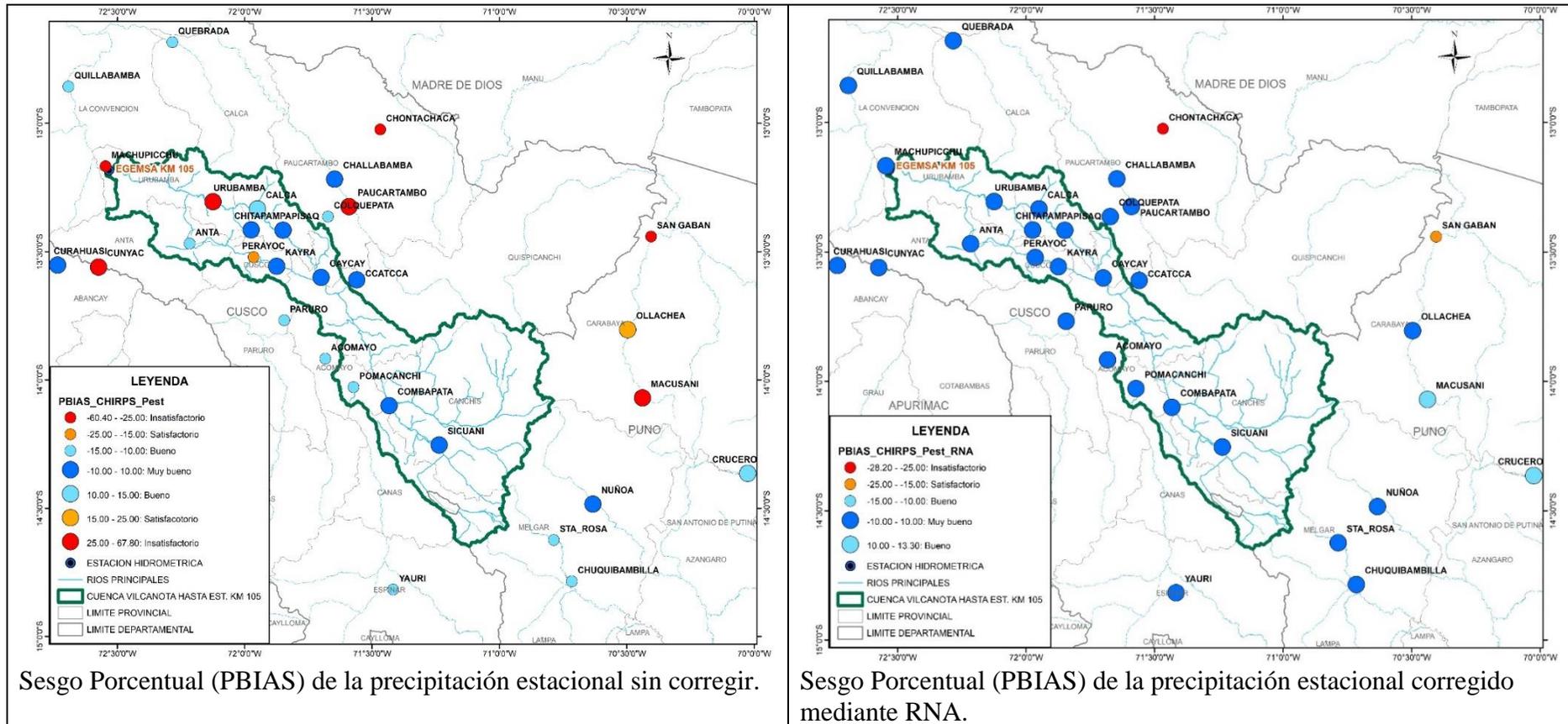


Figura 294. Comparativo de Variación espacial del Sesgo Porcentual (PBIAS) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.

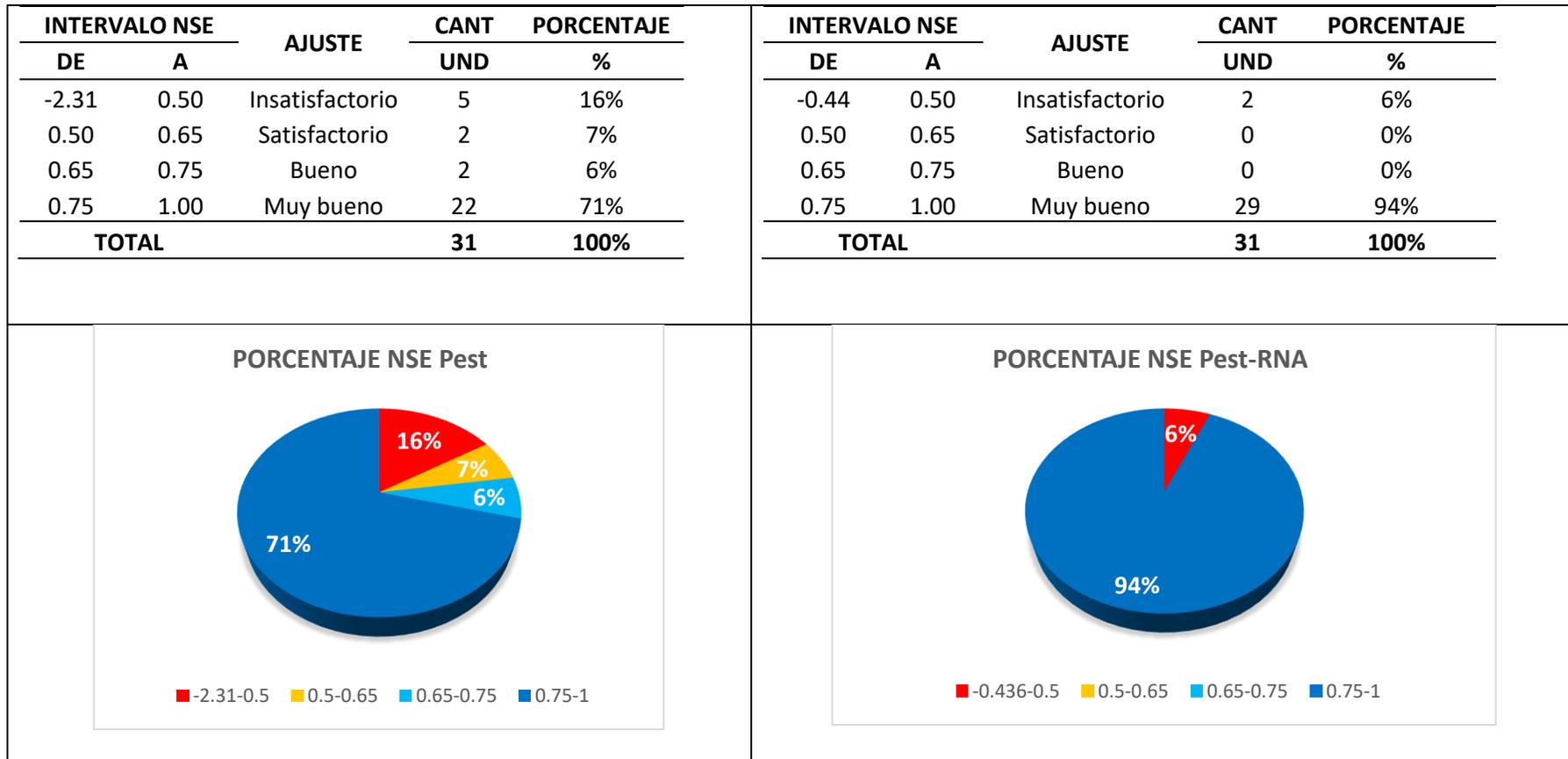
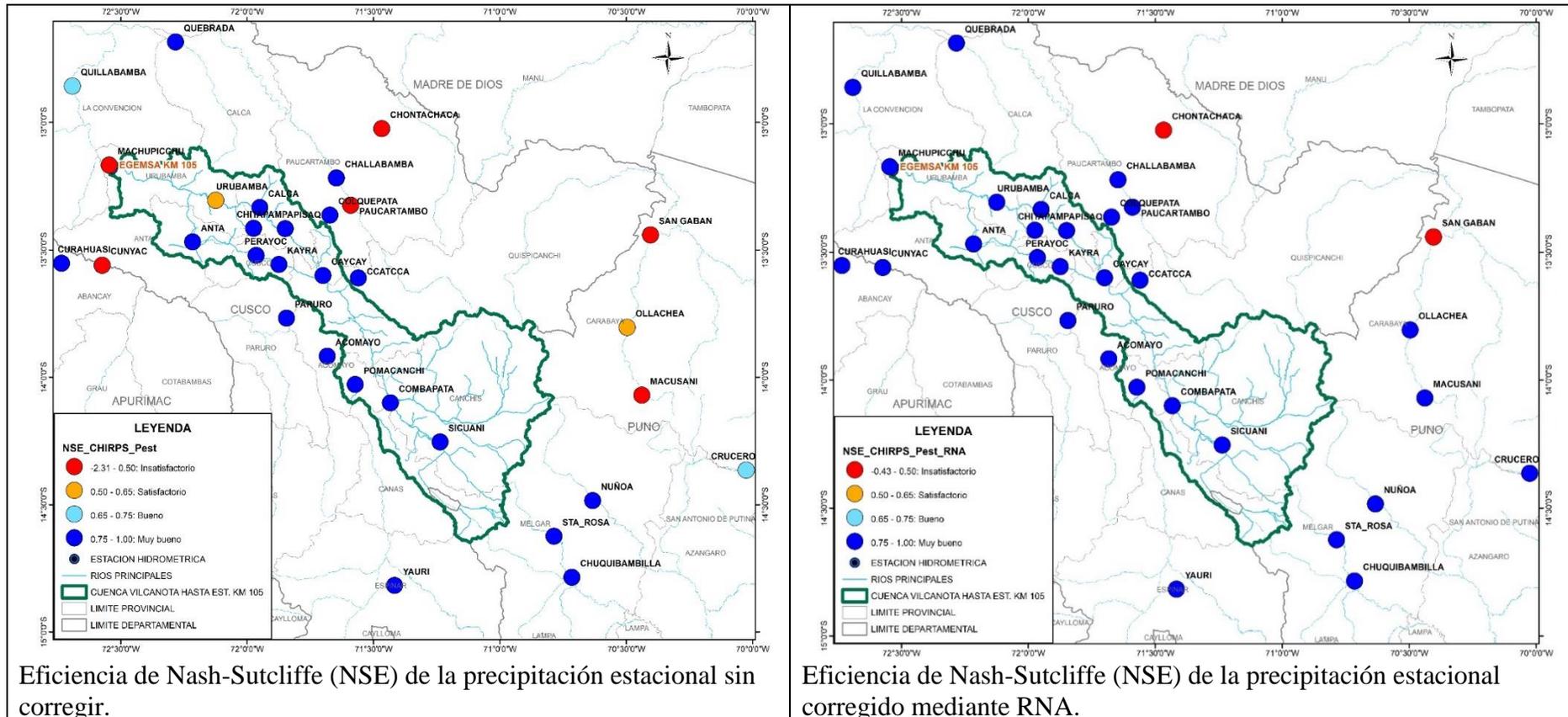


Figura 295. Comparativo de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA, se logra mejorar le eficiencia de la estimación (NSE), como muy buena en la mayoría de las estaciones excepto: Chontachaca y San Gaban.



**Figura 296.** Comparativo de Variación espacial de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.

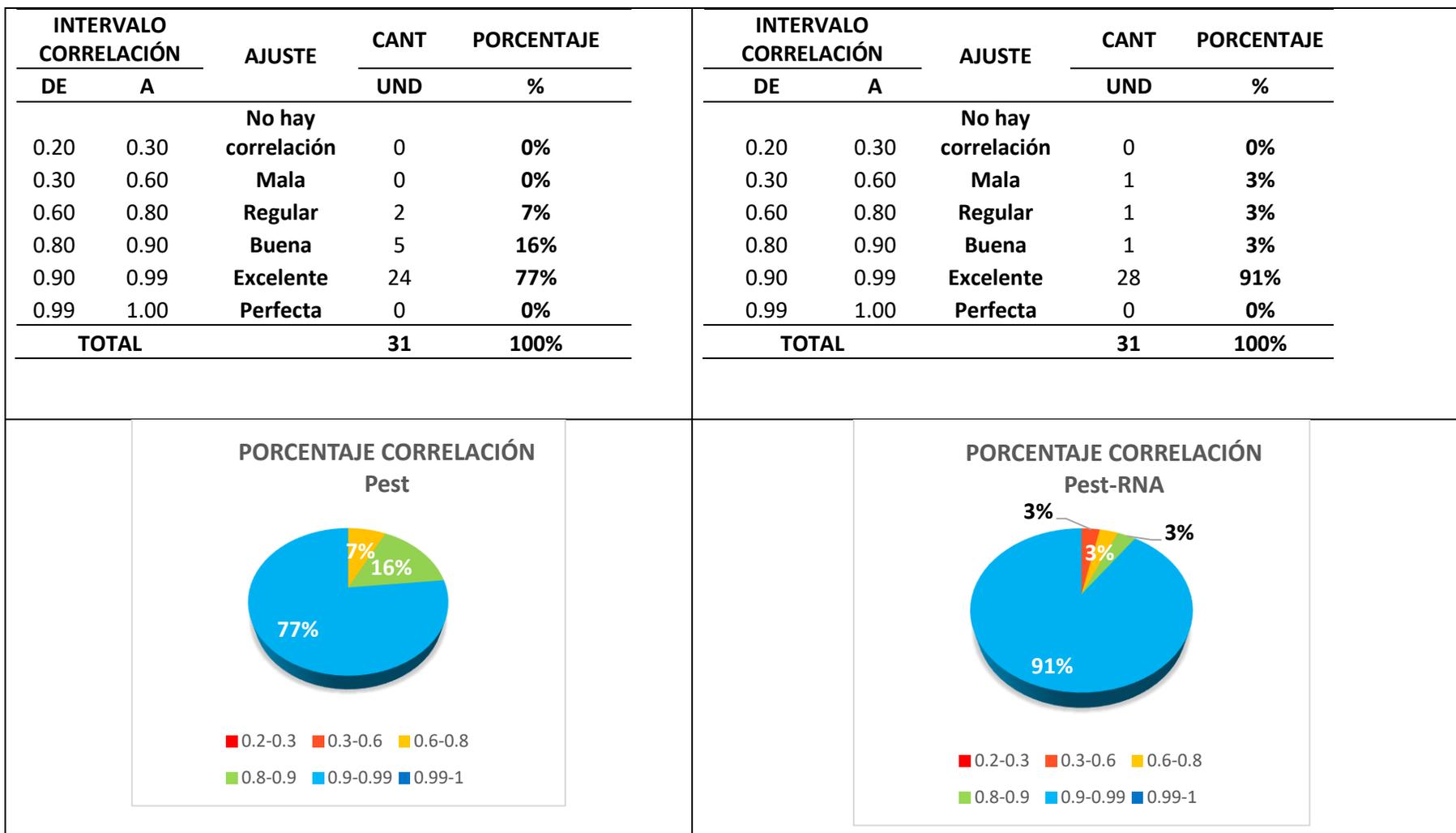
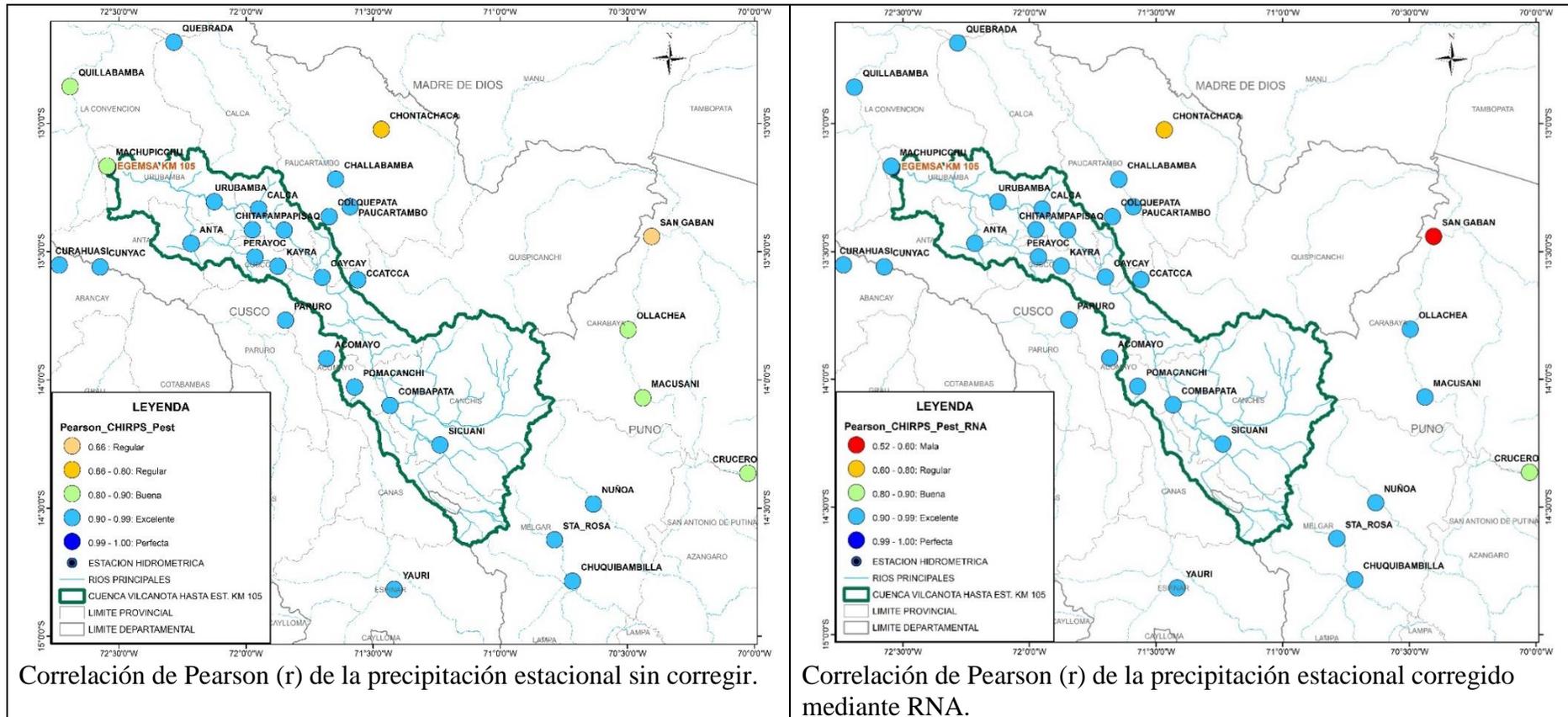


Figura 297. Comparativo de la Correlación de Pearson (r) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.

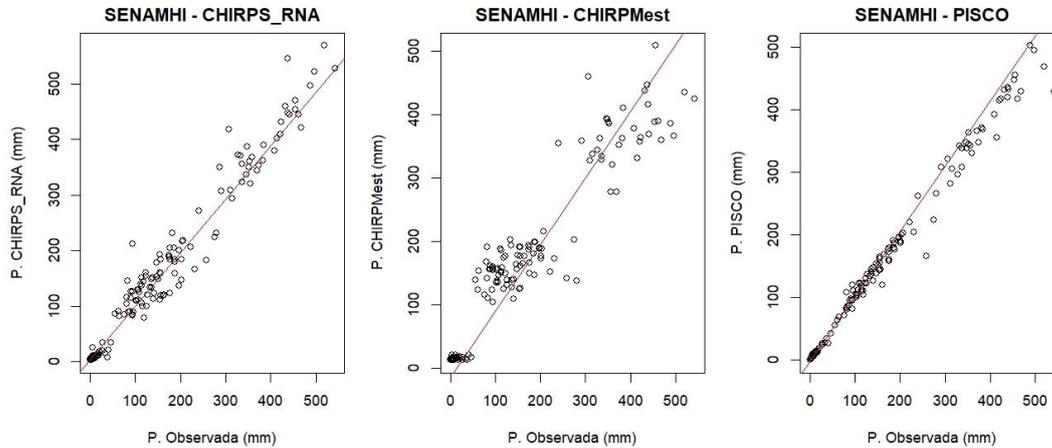
La precipitación mensual corregido mediante RNA se mejora la correlación ( $r$ ), como excelente en la mayoría de las estaciones excepto: Chontachaca, San Gaban y Crucero.



**Figura 298.** Comparativo de Variación espacial de la Correlación de Pearson ( $r$ ) precipitación estacional sin corregir y corregido mediante RNA.

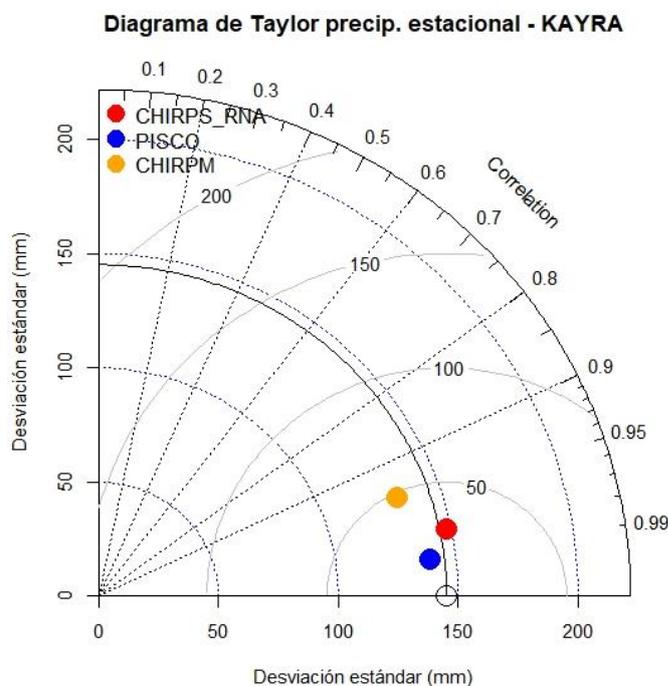
### Comparación con otros productos de precipitación estacional corregida mediante RNA

De acuerdo a la **Figura 299**, el producto PISCO muestra mejor dispersión con los datos observados, seguido del producto CHIRPS\_RNA.



**Figura 299.** Dispersión de la precipitación estacional de los datos observados vs CHIRPS\_RNA, CHIRPSM y PISCO.

Según el Diagrama de Taylor mostrada en la **Figura 300**, el producto PISCO sigue mostrándose el mejor por poseer mejor correlación menor RMSE.



**Figura 300.** Diagrama de Taylor de la precipitación estacional de los productos CHIRPS\_RNA, PISCO y CHIRPM – estación Kayra.



#### 4.1.3.3. Estadísticos de validación de datos multiestacionales

- **MAE:** Según la **Figura 208**, excepto las estaciones San Gaban, Chontachaca y Machupicchu se tiene:
  - **MAE<50 mm**, para la estación SON y JJA.
  - **MAE<100 mm**, para las estaciones DEF y MAM.
- **PBIAS (sesgo):** según la **Figura 209**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **-10<PBIAS<10 (sesgo muy bueno)**, en promedio en el 80% de las estimaciones CHIRPS, para las estaciones SON, DEF y MAM.
  - **Sesgo bueno, satisfactorio**, en la estación JJA.
- **NSE:** según la **Figura 210**, excepto las estaciones San Gaban y Chontachaca se tiene:
  - **NSE (Ajuste)**, bueno, satisfactorio e insatisfactorio, para las estaciones (SON, DEF y MAM).
  - **NSE (Ajuste)**, satisfactorio e insatisfactorio según cada estación meteorológica para las estaciones JJA.
- **CORRELACIÓN r:** según la **Figura 211**, excepto las estaciones se tiene:
  - **Correlación buena, regular y mala**, para todas las estaciones (SON, DEF y MAM).
  - **Correlación regular a mala**, para todas las estaciones JJA.

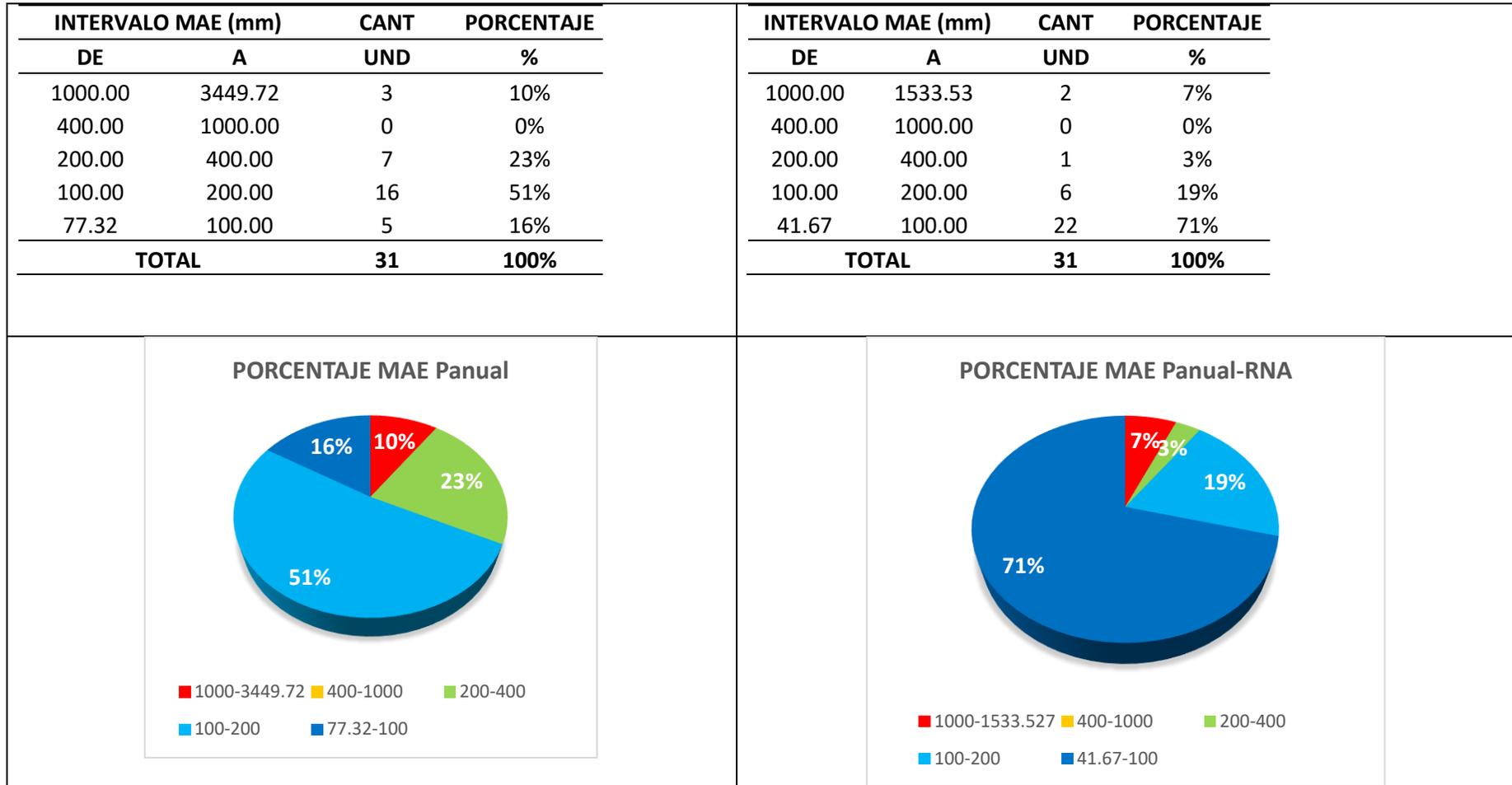
### 4.3.3. Precipitación anual

#### Estadísticos de validación de datos anuales

#### Estadísticas de comparación por pares.

**Tabla 173.** Resumen de indicadores de la estadística de comparación por pares precipitación anual corregida mediante RNA.

| ESTACION     | MAE_CHIRPS_RNA | RMSE_CHIRPS_RNA | PBIAS_CHIRPS_RNA | NSE_CHIRPS_RNA | Pearson_CHIRPS_RNA |
|--------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|--------------------|
| CUNYAC       | 63.752         | 82.957          | 6.400            | 0.250          | 0.610              |
| COLQUEPATA   | 69.177         | 98.917          | 3.400            | 0.293          | 0.649              |
| CHITAPAMPA   | 56.929         | 75.350          | 0.000            | 0.589          | 0.769              |
| SAN GABAN    | 1533.526       | 1792.899        | -20.300          | -1.509         | 0.421              |
| NUÑO A       | 61.913         | 80.556          | 0.900            | 0.549          | 0.743              |
| QUILLABAMBA  | 143.004        | 195.888         | -3.800           | 0.302          | 0.608              |
| KAYRA        | 64.548         | 85.509          | 2.500            | 0.434          | 0.727              |
| QUEBRADA     | 121.076        | 153.747         | -1.200           | 0.352          | 0.635              |
| CHALLABAMBA  | 91.640         | 114.205         | 2.000            | 0.406          | 0.661              |
| CHONTACHACA  | 1479.198       | 1590.729        | -27.800          | -3.974         | 0.573              |
| CURAHUASI    | 95.336         | 116.554         | 5.900            | 0.092          | 0.557              |
| MACHUPICCHU  | 208.707        | 266.486         | 0.200            | 0.513          | 0.754              |
| URUBAMBA     | 55.404         | 73.913          | 6.700            | 0.359          | 0.714              |
| ANTA         | 140.947        | 171.342         | 0.700            | 0.640          | 0.812              |
| CALCA        | 41.671         | 55.432          | 3.100            | 0.572          | 0.792              |
| PARURO       | 87.383         | 105.017         | -0.800           | 0.524          | 0.726              |
| ACOMAYO      | 97.257         | 126.836         | -2.900           | 0.437          | 0.676              |
| PAUCARTAMBO  | 61.751         | 86.783          | 3.000            | 0.347          | 0.666              |
| CCATCCA      | 62.021         | 85.974          | 3.900            | 0.575          | 0.814              |
| OLLACHEA     | 145.920        | 190.427         | 8.100            | -0.202         | 0.420              |
| COMBAPATA    | 57.532         | 80.827          | 0.600            | 0.683          | 0.827              |
| SICUANI      | 62.435         | 76.638          | 4.400            | 0.591          | 0.826              |
| MACUSANI     | 102.162        | 128.856         | 13.700           | -0.365         | 0.576              |
| CAYCAY       | 77.681         | 97.779          | 2.300            | 0.147          | 0.552              |
| POMACANCHI   | 73.579         | 101.985         | 1.400            | 0.414          | 0.685              |
| STA_ROSA     | 90.842         | 108.067         | 2.400            | 0.521          | 0.737              |
| PISAQ        | 69.268         | 99.550          | -0.500           | 0.528          | 0.732              |
| PERAYOC      | 97.238         | 110.647         | -0.700           | 0.376          | 0.632              |
| YAURI        | 74.818         | 87.157          | 0.900            | 0.718          | 0.858              |
| CHUQUIBAMBII | 60.763         | 77.834          | -1.200           | 0.679          | 0.827              |
| CRUCERO      | 172.271        | 213.245         | 12.300           | 0.222          | 0.595              |



**Figura 301.** Comparativo del error absoluto medio (MAE) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA, las estaciones: Curahuasi, Cunyac, Urubamba, Calca, Perayoc, Kayra, Challabamba, Colquepata, Paucartambo, Paruro, Caycay, Acomayo, Pomacanchi, Sicuani, Yauri, Santa Rosa y Chuquibambilla; reducen el MAE < 100 mm. En general la mayoría reducen el MAE, excepto las estaciones: Chontachaca, San Gaban y Crucero, que se mantienen en el mismo intervalo.

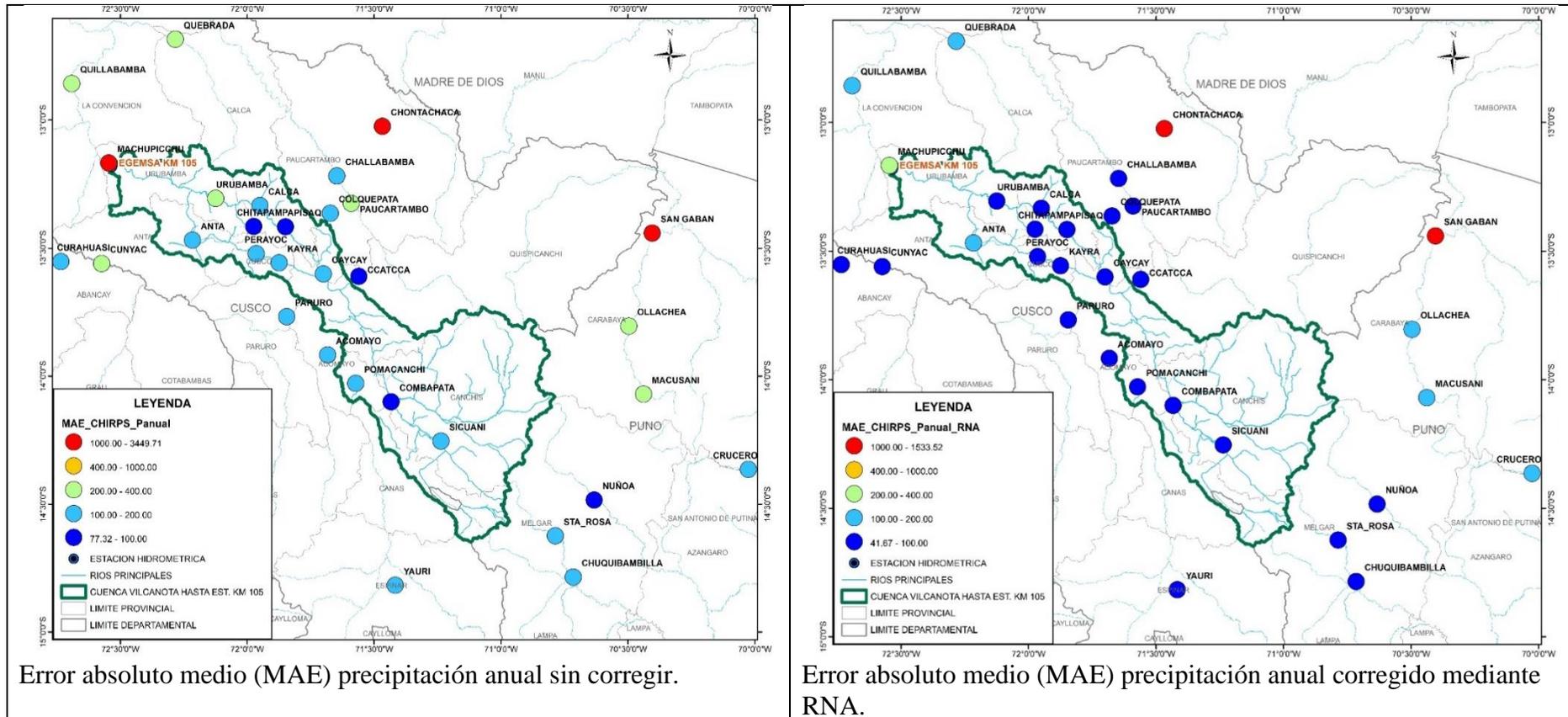


Figura 302. Comparativo de la Variación espacial del error absoluto medio (MAE) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

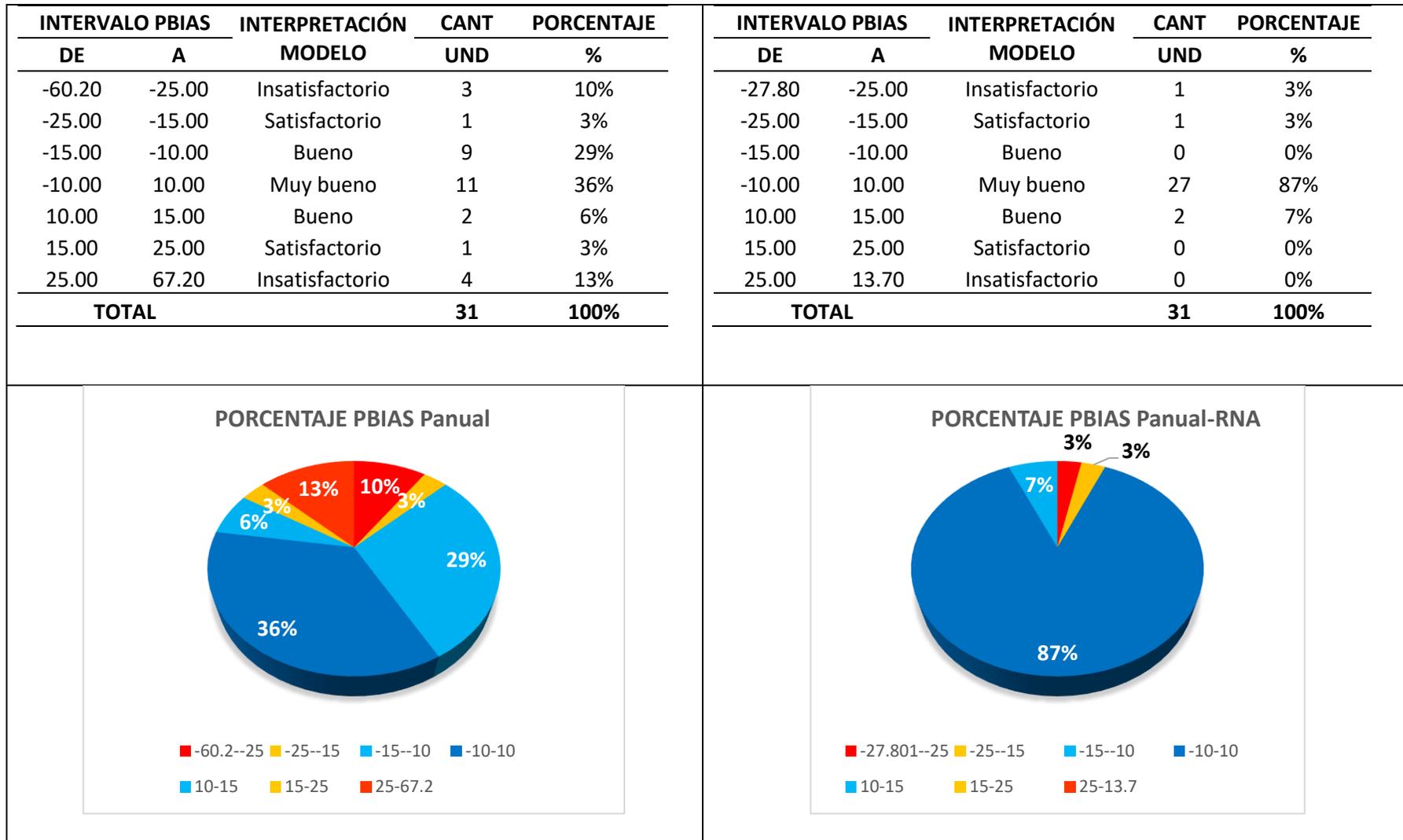


Figura 303. Comparativo del Sesgo Porcentual (PBIAS) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA se logra mejorar el sesgo (PBIAS) con una estimación muy buena en todas las estaciones excepto: Chontachaca, San Gaban y Crucero.

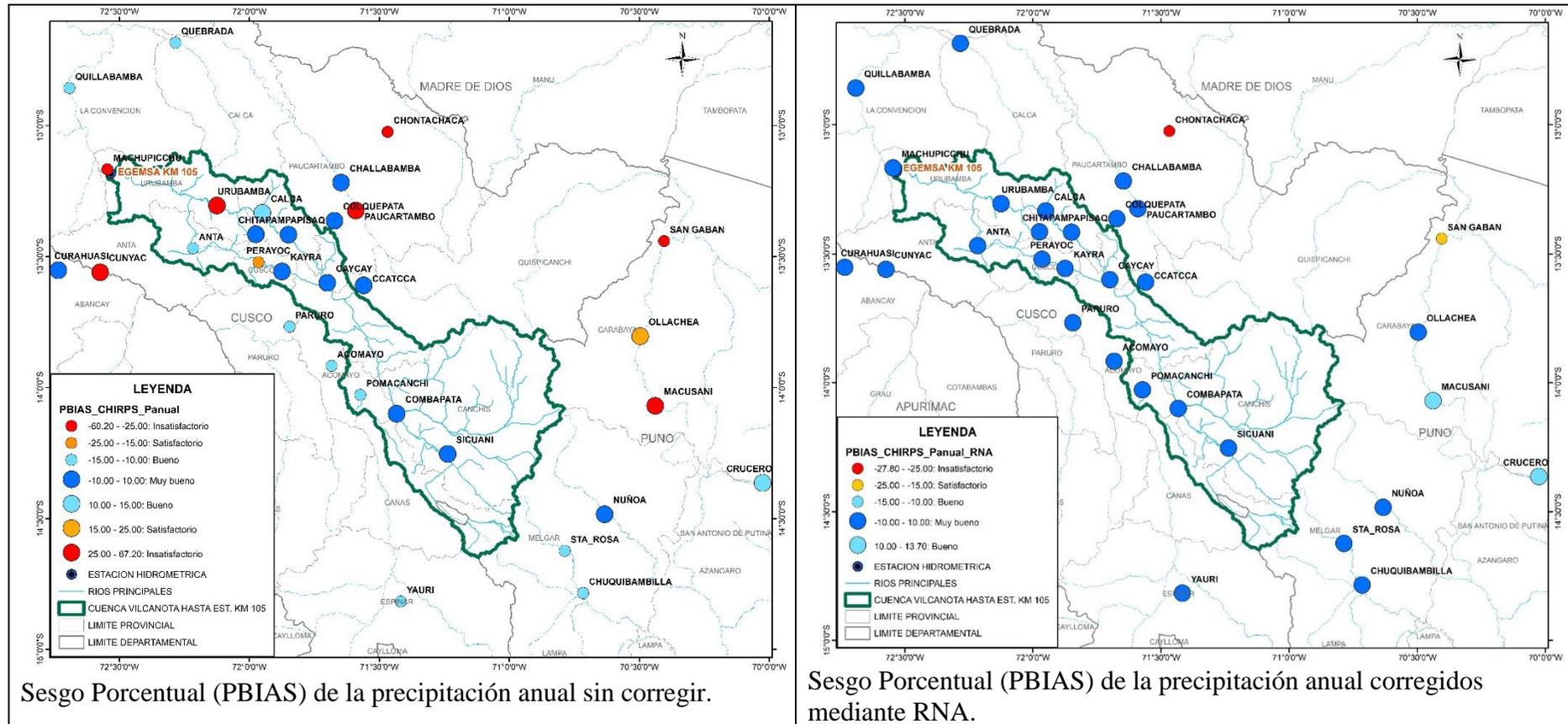


Figura 304. Comparativo de Variación espacial del Sesgo Porcentual (PBIAS) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

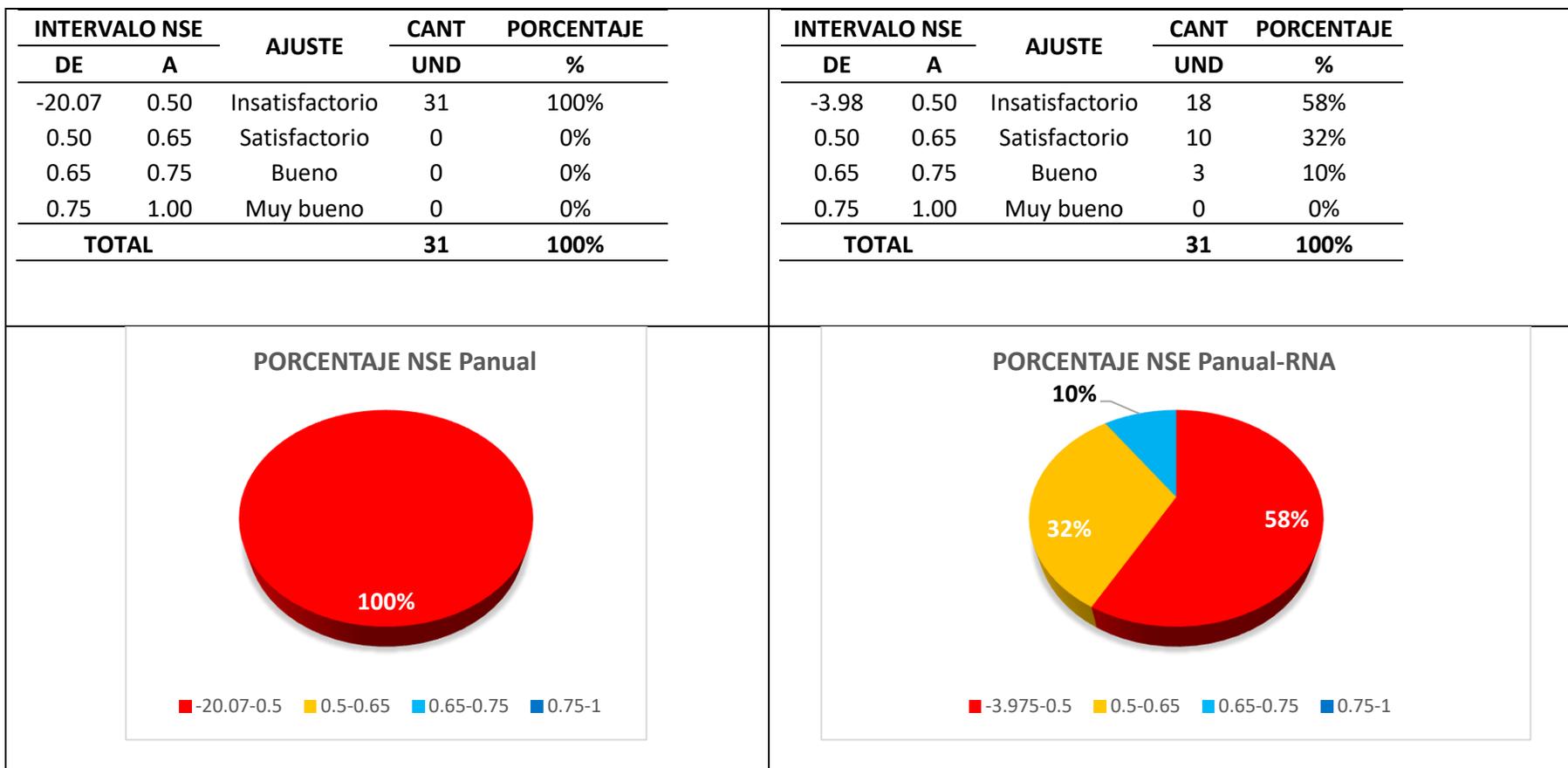
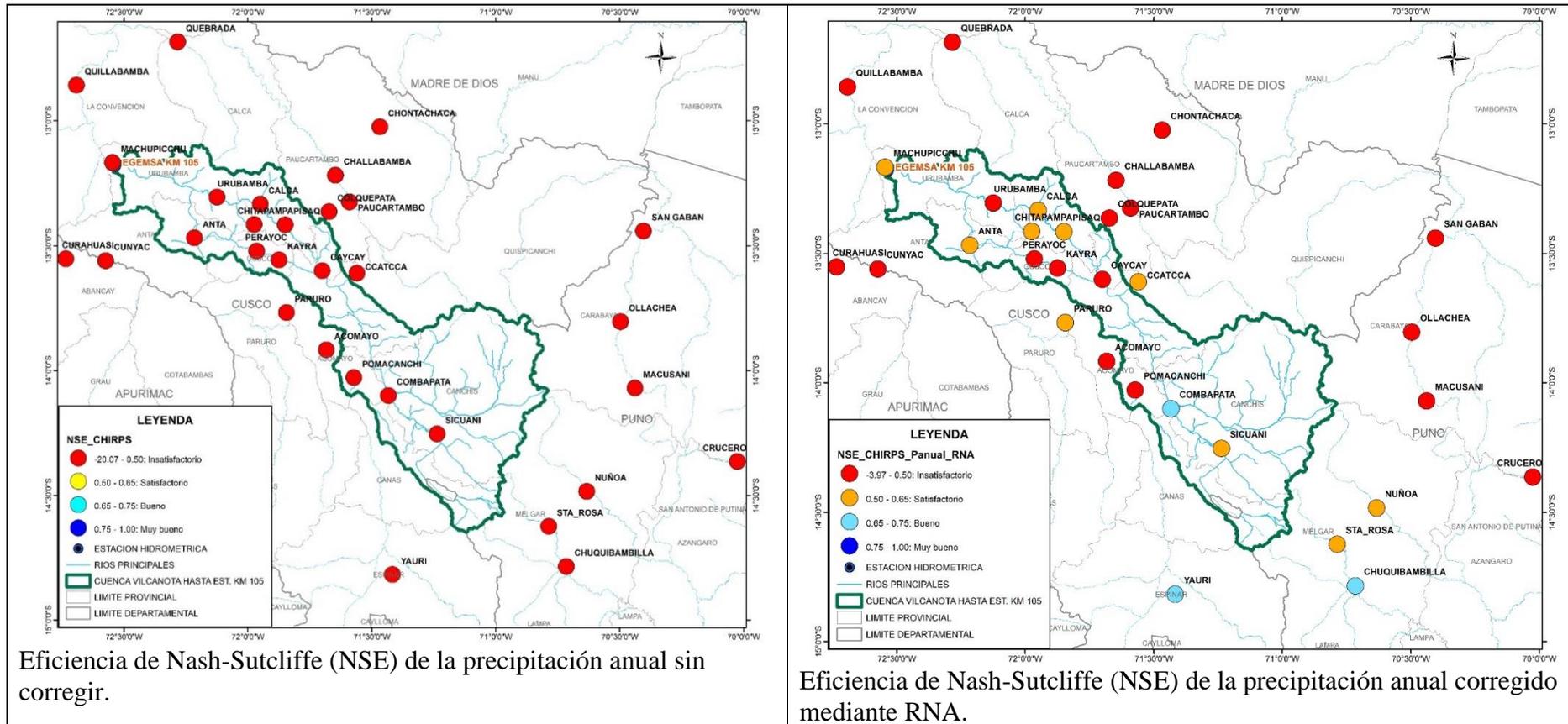


Figura 305. Comparativo de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

Con la corrección mediante RNA, se logra mejorar le eficiencia de la estimación (NSE), como satisfactorio a las estaciones: Machupicchu, Anta, Calca, Chitapampa, Pisaq, Ccatcca, Paruro, Sicuani, Santa Rosa y Nuñoa; como bueno a las estaciones: Combapata, Yauri y Chuquibambilla.



**Figura 306.** Comparativo de Variación espacial de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

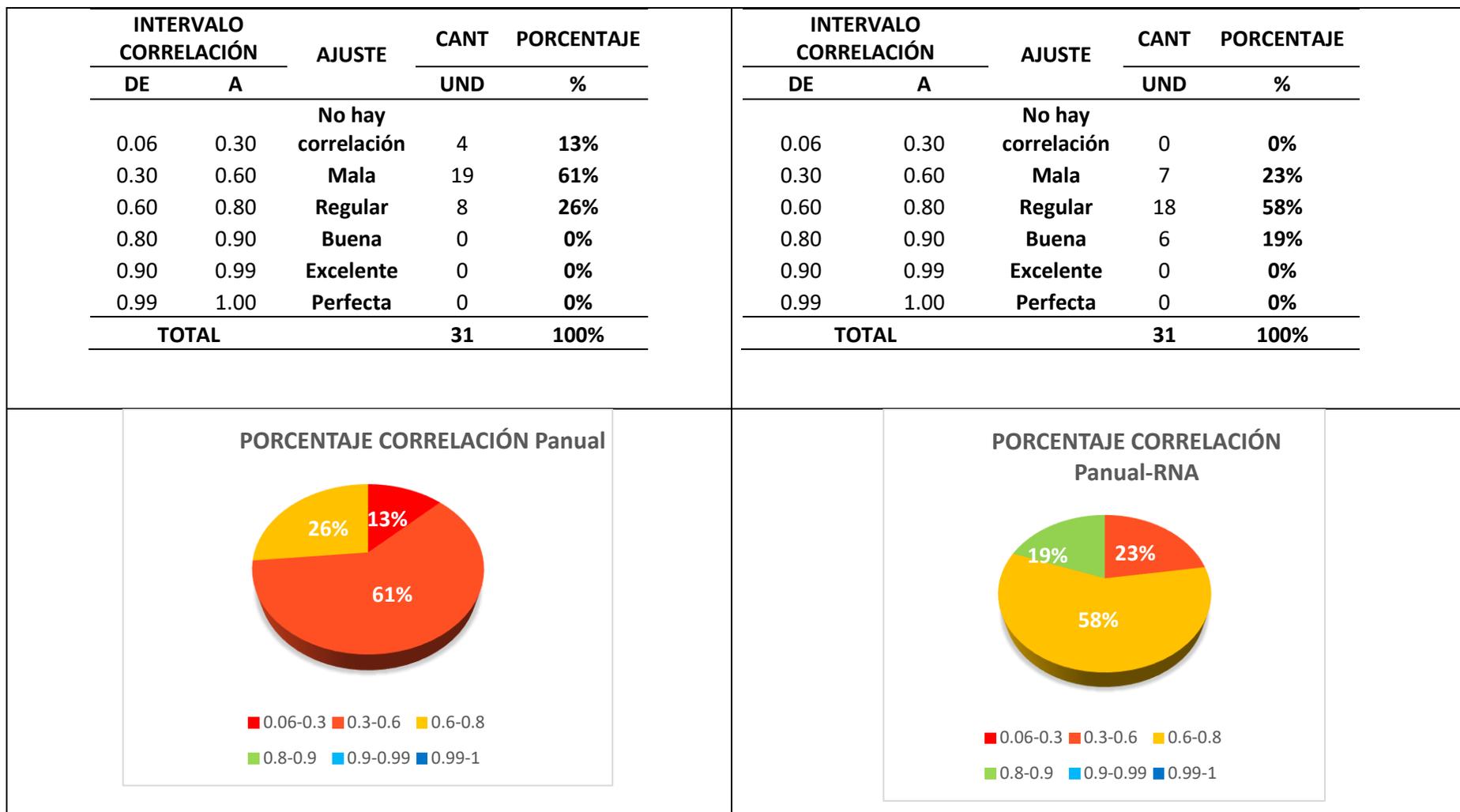
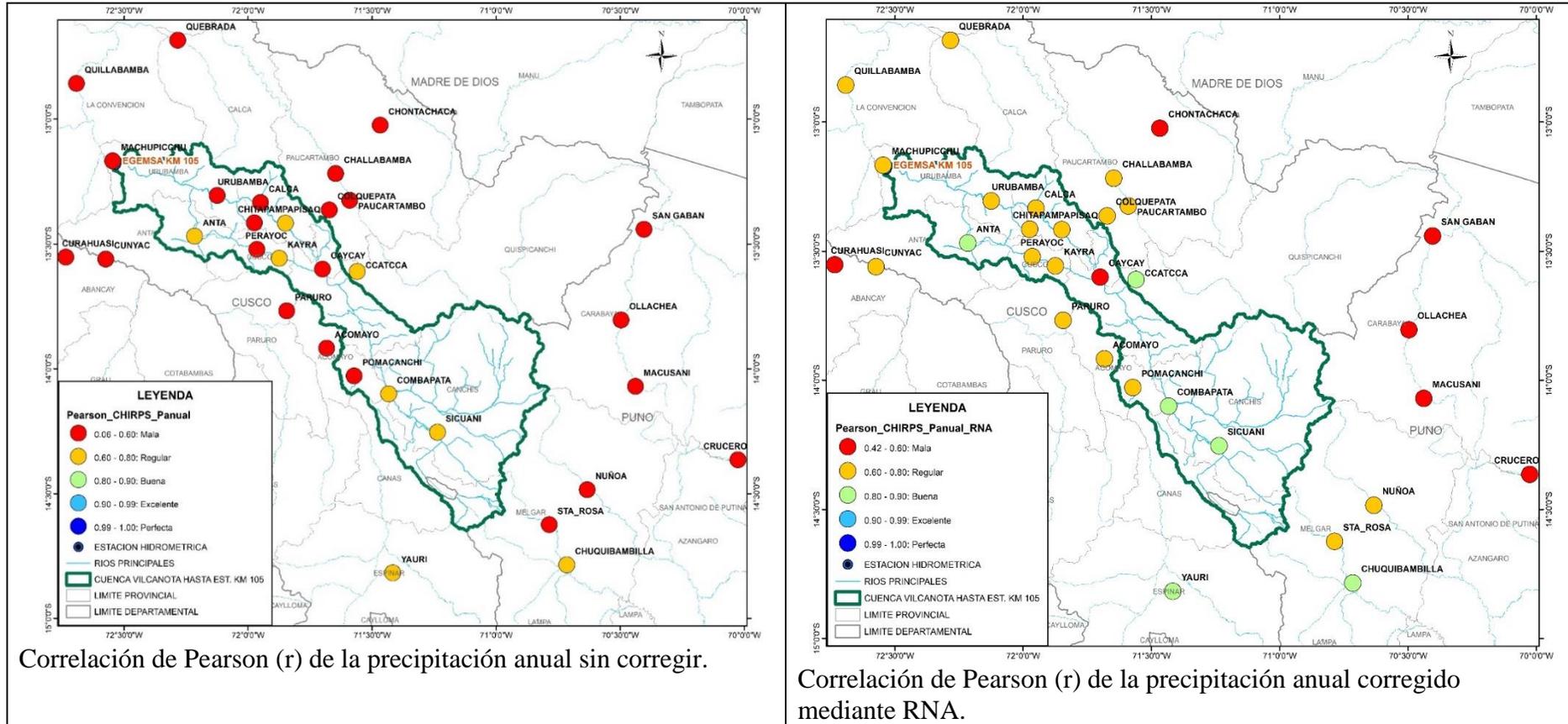


Figura 307. Comparativo de la Correlación de Pearson (r) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

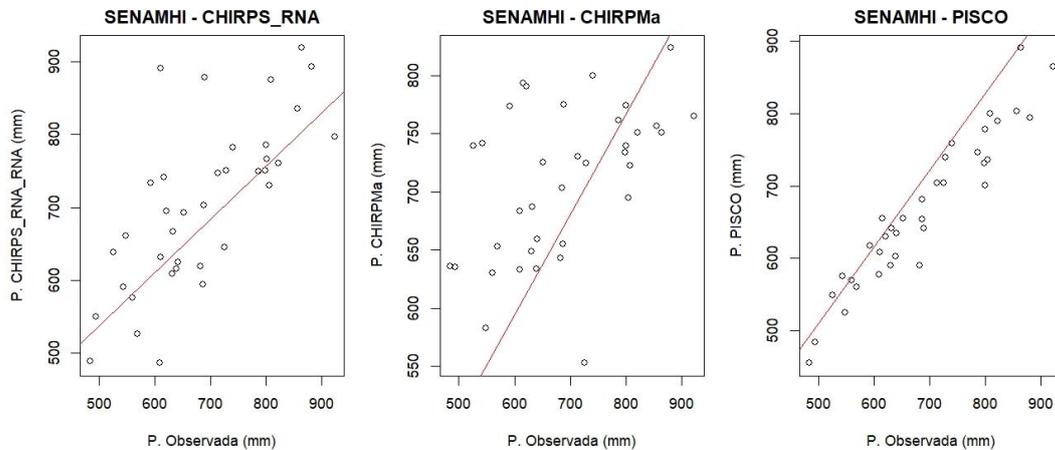
La precipitación mensual corregido mediante RNA se mejora la correlación (r), como buena solo a las estaciones: Anta, ccatcca, combapata, Sicuani, Yauri y Chuquibambilla.



**Figura 308.** Comparativo de la Variación espacial de la Correlación de Pearson (r) precipitación anual sin corregir y corregido mediante RNA.

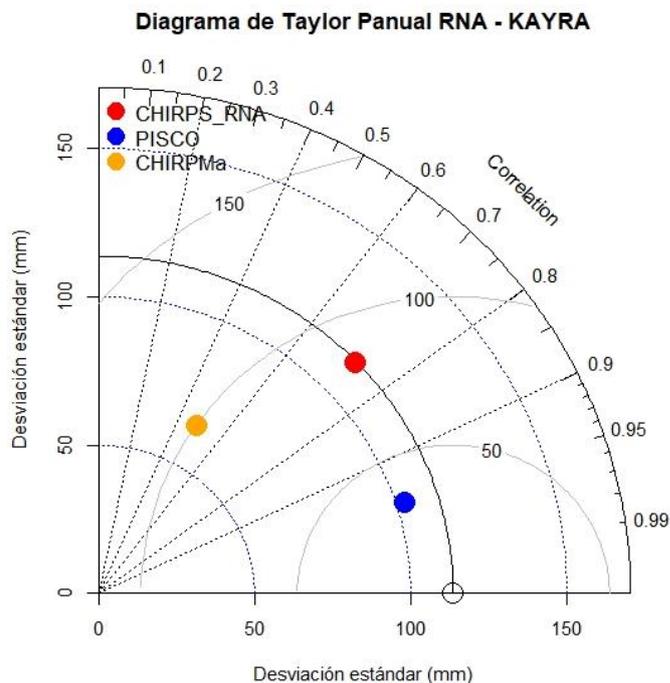
### Comparativo con otros productos de precipitación anual corregida mediante RNA

De acuerdo a la **Figura 309**, el producto PISCO muestra mejor dispersión con los datos observados, seguido del producto CHIRPS\_RNA.



**Figura 309.** Diagrama de dispersión de la precipitación anual CHIRPS\_RNA, CHIRPM y PISCO.

Según el Diagrama de Taylor mostrada en la **Figura 310**, el producto PISCO sigue mostrándose el mejor por poseer mejor correlación menor RMSE.



**Figura 310.** Comparativo mediante el Diagrama de Taylor de la precipitación anual de los productos: CHIRPS\_RNA, PISCO y CHIRPM.

## Capítulo V: Discusión

### 5.1. Contraste de resultados con referentes del marco teórico

#### **¿CHIRPS captura mejor la variabilidad temporal de la precipitación a escala mensual que a escalas menores?**

Si. Incluso lo hace mucho mejor a escala estacional, seguido de mensual y anual.

Los resultados de la evaluación de la precipitación se contrastan con los resultados obtenidos por Urrea, Ochoa, & Mesa (2016), donde “se obtuvieron errores menores y mejores ajustes de las funciones de probabilidad para las escalas mensual y anual que para diaria”.

#### **¿Cuales son las fortalezas del producto CHIRPS evaluados en estaciones dentro y alrededor de la cuenca del río Vilcanota?**

Dentro de las principales fortalezas se tiene:

- Resolución espacial más alta entre los productos actualmente disponibles.
- Resolución temporal relativamente altas y suficientes para aplicaciones en hidrología (mensual, estacional y anual).
- Conserva la estacionalidad de la precipitación mensual

Se contrasta con los resultados obtenidos por Urrea, Ochoa, & Mesa (2016)

#### **¿Cuál es la principal desventaja del producto CHIRPS?**

Que, a escala diaria, las probabilidades de detección son bajas y los errores en la estimación son altas, por lo que CHIRPS no es confiable para utilizarlo directamente en estudios hidrológicos, lo que contrasta con la investigación de Collarani & Villazon (2018).

#### **¿Cuál es la razón por lo que la estimación de la precipitación diaria no sea buena?**

Según se indica en el marco teórico “Los productos CHIRP (dato previo a la generación de CHIRPS), en el paso de tiempo mensual (CHIRPm) y diario (CHIRPd) se calculan inicialmente a partir del producto del paso de tiempo pentadas preliminar (CHIRPpentad)”, por lo que el producto CHIRPS no estima realmente la precipitación diaria observada, Contrastando lo que se indica en el ítem 2.2.3.2.

#### **¿La precipitación presenta mejoras luego de la corrección mediante el Modelo de RNA?**

La precipitación a escalas temporales: mensual estacional y anual, corregidas mediante el Modelo de RNA, posteriormente evaluadas mediante Estadísticos de Validación Categórica,



Estadísticas de Comparación por Pares y comparados con los productos PISCO y CHIRPM, presenta mejoras en su mayoría, así se contrasta con la investigación de Lujano & Felipe (2013).

## **5.2. Interpretación de los resultados encontrados en la investigación**

### **De la precipitación estimada por satélite CHIRPS sin corrección:**

#### **¿Qué se puede indicar en referencia a la evaluación mediante los Estadísticos de Validación Categórica de la precipitación diaria para umbral de 0.80 mm?**

En general, hay mayores Probabilidades de Detección de la precipitación diaria que la generación de Falsa Alarma (*Figura 220*), excepto en Urubamba con POD mas bajo por encima del 50% FAR mas alto por encima del 50%.

#### **¿Porqué PISCO es mejor que CHIRPS Y CHIRPM en la estimación de la precipitación diaria?**

La razón es porque PISCO y CHIRPMd utilizó las 20 estaciones meteorológicas evaluadas en esta investigación para su generación.

#### **¿Porqué no fue posible corregir la precipitación diaria CHIRPS mediante RNA?**

Porque a pesar de tener mayores probabilidades de acertar en la detección de la precipitación diaria, todavía existe un gran porcentaje considerable que se manifiesta como falsa alarma.

Por otro lado, a pesar de que el 35% muestra sesgo muy bueno, la totalidad de estaciones muestra la eficiencia como insatisfactorio y en gran parte la correlación es mala e incluso en ciertos casos no hay correlación.

Por lo que, en esta investigación, la corrección mediante el Modelo de Redes Neuronales Artificiales no fue posible, pero si es posible hacerlo mediante otros modelos, así como en la generación del producto PISCO.

#### **¿Porqué es importante el análisis de consistencia de la precipitación?**

Porque mediante un control de calidad visual, se evalúa intervalos semejantes a las estaciones vecinas y evitar exagerados indicios de presencia de saltos y tendencias y disponer datos con saltos mínimos que mediante la primera corrección de datos no genere modificación sustancial de la información.



### **¿Son aceptables los resultados obtenidos de la evaluación mediante estadísticos de validación categórica y estadísticos de comparación por pares de la precipitación mensual del producto CHIRPS?**

Según la evaluación mediante estadísticos de validación categórica, son aceptables en su mayoría. Porque tiene mucho mayores probabilidades de acertar en la detección de la precipitación mensual, que ocasionar falsa alarma.

De acuerdo a la evaluación mediante estadísticos de comparación por pares, también son aceptables en su mayoría. Porque de 31 estaciones se tiene Sesgo muy bueno y bueno (70%), Eficiencia muy buena y buena (78%) y correlación Excelente y buena (90%).

Por lo tanto, en esta investigación, la corrección mediante el Modelo de Redes Neuronales Artificiales es posible.

### **¿Son aceptables los resultados obtenidos de la evaluación mediante estadísticos de comparación por pares de la precipitación estacional y anual del producto CHIRPS?**

Para la precipitación estacional, la corrección mediante el Modelo de Redes Neuronales Artificiales es posible.

En esta investigación, para la precipitación anual, a pesar de los bajos indicadores de Eficiencia en la estimación y correlación, la corrección mediante el Modelo de Redes Neuronales Artificiales es posible.

### **¿PISCO es mejor que CHIRPS y CHIRPM en todas las estaciones en la precipitación mensual, estacional y anual?**

De manera general se puede decir que PISCO es mejor producto que CHIRPS y CHIRPM en la mayoría de las estaciones excepto en estaciones que no fueron datos para su generación.

### **¿Porqué el Modelo de Red Neuronal Artificial RNA-3, tiene mayor cantidad de arquitecturas para la corrección de la precipitación mensual?**

Por una parte, en la corrección mediante RNA cuántas más variables y cuantos más datos por variable se disponga aumenta las posibilidades de aprendizaje del modelo y por lo tanto la posibilidad de la corrección.

Por otro lado, la precipitación mensual en el área de esta investigación tiene variaciones estacionales muy marcadas; Por lo que, en la gran mayoría, un mes seleccionado  $P(t)$  se relaciona hasta con dos meses anteriores  $P(t-1)$  y  $P(t-2)$ .

**¿Cuántos modelos de corrección mediante el modelo de redes neuronales artificiales (RNA) se obtuvieron?**

De los 372 meses disponibles de la precipitación mensual, solo el 78.5% de los datos pudo ser corregida mediante RNA (292 meses), debido a que según los modelos planteados en la **Tabla 101** y las condiciones de entrenamiento de los modelos indicados en la **Tabla 102**, hay datos mensuales que no convergen en un resultado, porque en su mayoría presentan  $NSE < 0.50$  (insatisfactorio) y  $Correlación\ Pearson < 0.75$  (Regular) entre la variable de entrada y la salida objetivo.

**¿Entonces cómo se pudo corregir el resto de los datos mensuales?**

Se realizó completando mediante el método CUTOFF en base al resto de datos corregidos.

**¿Hay mejora la precipitación mensual, estacional y anual corregida mediante RNA?**

De 31 estaciones CHIRPS antes de la corrección con CHIRPS\_RNA.

Así como se muestra en la **Tabla 174**, en general hay mejora en la precipitación mensual, estacional y anual.

El MAE y PBIAS son los indicadores estadísticos que más se mejoran con RNA.

**Tabla 174.** Mejora de la precipitación mensual, estacional y anual corregida mediante RNA

| PRECIPITACIÓN                 | INDICADOR ESTADÍSTICO   | CHIRPS | CHIRPS_RNA | SE AUMENTA | INTERPRETACIÓN |  |
|-------------------------------|---|--------|------------|------------|----------------|--|
| MENSUAL                       | MAE<20 mm   | 45%    | 74%        | 29%        | MEJORA         |  |
|                               | PBIAS (Muy bueno)   | 36%    | 87%        | 51%        | MEJORA         |  |
|                               | NSE (Muy bueno)   | 65%    | 84%        | 19%        | MEJORA         |  |
|                               | r (Excelente)   | 45%    | 81%        | 36%        | MEJORA         |  |
|                               | <b>N° DE ESTACIONES EN QUE CHIRPS MEJOR QUE PISCO Y CHIPM</b> |        |            |            |                |  |
|                               | POD   | 7      | 10         | 3          | MEJORA         |  |
|                               | FAR   | 5      | 8          | 3          | MEJORA         |  |
|                               | MAE   | 5      | 13         | 8          | MEJORA         |  |
|                               | PBIAS   | 4      | 16         | 12         | MEJORA         |  |
|                               | NSE   | 7      | 17         | 10         | MEJORA         |  |
| r                             | 7   | 15     | 8          | MEJORA     |                |  |
| ESTACIONAL                    | MAE<40 mm   | 35%    | 74%        | 39%        | MEJORA         |  |
|                               | PBIAS (Muy bueno)   | 32%    | 87%        | 55%        | MEJORA         |  |
|                               | NSE (Muy bueno)   | 71%    | 94%        | 23%        | MEJORA         |  |
|                               | r (Excelente)   | 77%    | 91%        | 14%        | MEJORA         |  |
|                               | <b>N° DE ESTACIONES EN QUE CHIRPS MEJOR QUE PISCO Y CHIPM</b> |        |            |            |                |  |
| DIAGRAMA TAYLOR (RMSE, SD, r) | 7   | 17     | 10.0       | MEJORA     |                |  |
| ANUAL                         | MAE<100 mm  | 16%    | 71%        | 55%        | MEJORA         |  |
|                               | PBIAS (Muy bueno)   | 36%    | 87%        | 51%        | MEJORA         |  |
|                               | NSE (bueno)   | 0%     | 10%        | 10%        | MEJORA         |  |
|                               | r (Buena)   | 0%     | 19%        | 19%        | MEJORA         |  |
|                               | <b>N° DE ESTACIONES EN QUE CHIRPS MEJOR QUE PISCO Y CHIPM</b> |        |            |            |                |  |
| DIAGRAMA TAYLOR (RMSE, SD, r) | 5   | 13     | 8.0        | MEJORA     |                |  |



### 5.3. Comentario de la demostración de la hipótesis

**¿Cómo se puede calificar la estimación de la precipitación CHIRPS en las diferentes escalas temporales?**

#### **Precipitación diaria.**

- A pesar de mostrar mayores aciertos de la precipitación que la generación de falsas alarmas la diferencia entre éstos es mínimo.
- Sensible a la subestimación y a la sobrestimación de la precipitación, eficiencia insatisfactoria y correlación mala e incluso la no existencia de correlación.

#### **Precipitación mensual y estacional**

- En general tiene la POD mucho mayor que la FAR
- Errores mínimos en la estimación, sesgo muy bueno, eficiencia en la estimación muy bueno y correlación de Pearson excelente.

#### **Precipitación anual**

- Sesgo muy bueno, eficiencia en la estimación insatisfactorio y correlacion de Pearson regular, mala e incluso la no existencia de correlación.

**¿A que escala temporal estima mejor la precipitación el producto CHIRPS?**

El producto CHIRPS en general, estima mejor la precipitación estacional, seguido de mensual, anual y finalmente diaria.

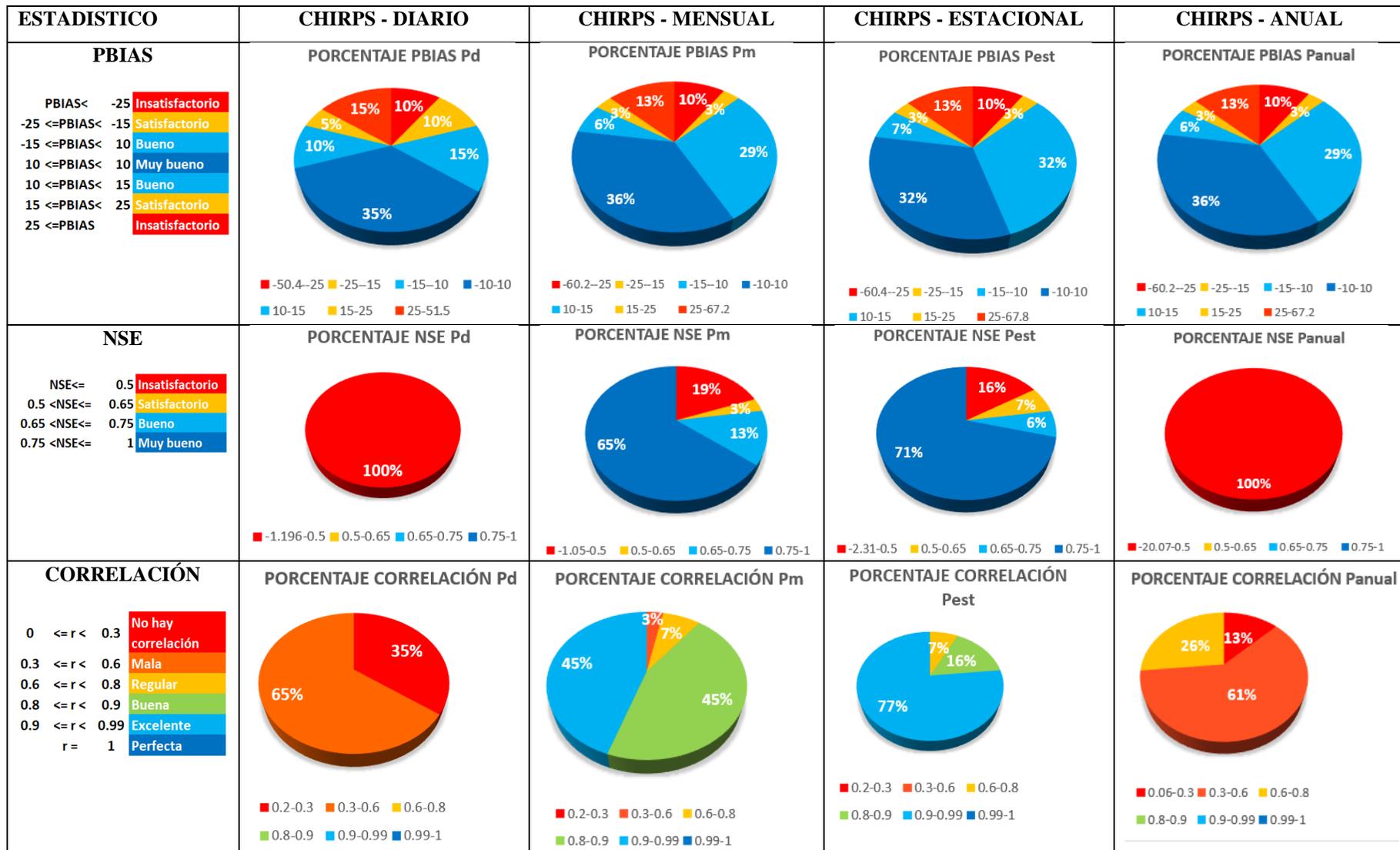


Figura 311. Comparativo de porcentaje de estaciones según evaluación por estadísticos a escalas diaria, mensual, estacional y anual.

#### 5.4. Aporte de la investigación

##### **¿Cuál es el aporte fundamental de este trabajo de investigación?**

Existe información alternativa de precipitación como el producto CHIRPS con resolución espacial de  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$  y resolución temporal diaria, pentadal y mensual.

Por otro lado, el Modelo de Redes Neuronales Artificiales hace posible la corrección de la precipitación estacional, mensual y anual, convirtiéndose cada vez más en una herramienta muy importante en la hidrología.

El producto CHIRPS tiene la suficiente cobertura espacial y la uniformidad temporal que mediante una adecuada calibración y/o corrección se convierte en una valiosa alternativa de información para trabajos de gestión, monitoreo hidrometeorológico y modelización de la disponibilidad hídrica en cuencas con limitaciones en términos de cobertura espacial y uniformidad temporal de la cuenca del río Vilcanota.

##### **¿Qué aspectos técnicos y científicos importantes produjo este trabajo de investigación?**

Este trabajo consideró temas nuevos en la evaluación de la estimación de la precipitación respecto a trabajos de investigación anteriores realizados en esta universidad.

Se evaluó la precipitación con criterios de cobertura espacial y diferentes resoluciones temporales.

Por tanto, se detalla los siguientes aportes

- Evaluación espacial de la precipitación dentro y alrededores de la cuenca del río Vilcanota hasta la estación hidrométrica EGEMSA km 105.
- Evaluación a resoluciones temporales: diario, mensual, estacional y anual
- Se evalúa la capacidad de detección de la lluvia mediante los estadísticos de validación categórica con respecto a la precipitación observada.
- Se evalúa el valor detectado de la precipitación del producto CHIRPS mediante estadísticos de comparación por pares con respecto a la precipitación observada.
- Se compara la estimación de la precipitación CHIRPS con respecto a otros productos disponibles de información grillada (PISCO y CHIRPM).

##### **¿Qué otro aporte técnico y académico importante propone este trabajo de investigación?**

Se aborda los procedimientos para la evaluación de la precipitación observada y estimada por satélite que pueden ser utilizados en posteriores investigaciones a nivel espacial y temporal. En referencia a los datos observados: control de calidad de los datos, análisis de consistencia y



completación de datos, y en referencia a la información estimada por satélite, la evaluación mediante estadísticos de validación categórica y estadísticas de comparación por pares.

**¿Qué herramientas de aporte técnico y académico importante propone este trabajo de investigación?**

Los cálculos y gráficos se realizan de manera sistemática mediante la elaboración de códigos de algoritmo, para finalmente mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) analizar la variación espacial de los resultados generando mapas temáticos; Por lo que, como parte del desarrollo de la investigación se elaboraron diversos códigos de algoritmo, para la descarga de datos, análisis estadísticos y gráficos, elaborados en el lenguaje R, los cuales se adjuntan en los anexos, siendo un valioso aporte para futuras investigaciones.

**5.5. Incorporación de temas nuevos que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación**

**¿Se introdujeron temas nuevos que inicialmente no fueron contemplados en los objetivos de la investigación?**

Inicialmente la corrección de la precipitación mensual mediante RNA, establecía hacerlo en todo el periodo de observación, pero durante el proceso de la investigación se considera hacerlo por cada mes cumpliéndose satisfactoriamente los objetivos.



## Glosario

- **Año Hidrológico.** Período de doce meses que comprende un ciclo hidrológico completo, partiendo del mes en que se observan los valores mínimos.
- **CHIRP.** Climate Hazards Group Infrared Precipitation estimates (without station data).
- **CHIRPS.** Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data
- **CHIRPM.** CHIRP modificado
- **CHPclim.** Climate Hazards Group's Precipitation Climatology.
- **Estacion Hidrométrica.** Estación en la cual se obtienen datos sobre el agua de ríos, lagos o embalses.
- **Mapa Temático.** representan de manera espacial resultados o variables específicas, bien definidas de forma gráfica.
- **Modelo Digital de Elevacion.** es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.
- **PISCO.** Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations
- **Red Neuronal Artificial.** modelos matemáticos que intentan reproducir el funcionamiento del sistema nervioso (neurona biológica), imitando el aprendizaje humano.
- **Río Principal.** Es el colector de la cuenca, donde recibe todas las aguas de sus tributarios y su recorrido será determinado siempre por el área de mayor tamaño.
- **Satélite Geoestacionario.** Son satélites artificiales que orbitan alrededor de la tierra a una altitud de aproximadamente 35800 kilómetros encima de la línea ecuatorial, a esta altura, la velocidad angular de la astronave es igual a la de la tierra (cada uno viaja 360°, o una órbita completa, en 24 horas). Como resultado, cada satélite permanece en el mismo punto de la Tierra a lo largo de toda su órbita.



## Conclusiones

- **CONCLUSIÓN N° 01 DE LA HIPÓTESIS GENERAL.** Se verifica la hipótesis general de la investigación. El producto CHIRPS tiene suficiente cobertura espacial dentro y fuera de la Cuenca del río Vilcanota, cumpliendo la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial (1 estación CHIRPS cada 30 km<sup>2</sup> aproximadamente frente a 1 estación cada 100 a 250 km<sup>2</sup>). En cuanto a la variabilidad temporal, la precipitación evaluada mediante Estadísticos de Validación Categórica, Estadísticos de Comparación por Pares y en comparación con los productos CHIRPM y PISCO, antes de la corrección mediante el modelo de Redes Neuronales Artificiales, estima mejor a escalas estacional, mensual y anual que a escala diaria, y después de la corrección se logra mejorar aún más, superando incluso CHIRPS\_RNA en algunas estaciones al producto PISCO y CHIRPM; por lo tanto la información pluvial estimada por satélite del producto CHIRPS, en general mediante una adecuada calibración y/o corrección se convierte en una valiosa alternativa de información para trabajos de gestión, monitoreo hidrometeorológico y modelización de la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Vilcanota con limitaciones en términos de cobertura espacial y uniformidad temporal.
- **CONCLUSIÓN N° 02 DE LA SUB HIPÓTESIS N° 01.** Se cumple la sub hipótesis de manera general, porque el producto CHIRPS a pesar de contar con suficiente cobertura espacial dentro y fuera de la Cuenca del río Vilcanota; en cuanto a la variabilidad temporal la calidad de la información de la precipitación diaria estimada concluye que:
  - A pesar de tener mayores probabilidades de acertar en la detección de la precipitación diaria, todavía existe un gran porcentaje considerable que se manifiesta como falsa alarma.
  - A pesar de que el 35% de las estaciones muestran sesgo muy bueno, la totalidad de estaciones muestra la eficiencia como insatisfactorio y en gran parte la correlación es mala e incluso en ciertos casos no hay correlación.
  - El producto PISCO tiene mejores indicadores, seguido del producto CHIRPS y finalmente CHIRPM, según la **Figura 228** al **Figura 234** y el anexo A.2.1.
  - La razón principal es porque PISCO y CHIRPMd utilizaron las 20 estaciones meteorológicas evaluadas en esta investigación para su generación.



- Concluyéndose además que CHIRPS tiene limitaciones en la detección de valores extremos de corta duración.
- **CONCLUSIÓN N° 03 DE LA SUB HIPÓTESIS N° 02.** Se rechaza la sub hipótesis de manera parcial. Mediante un control de calidad visual, en promedio se elimina el 7% de los datos que no presentaban intervalos semejantes a las estaciones vecinas y evitar exagerados indicios de presencia de saltos y tendencias (véase **Tabla 146**). El periodo de mayor pérdida de datos fue entre 1980 a 1999 (véase **Tabla 53** y **Figura 236**). El mes con mayor pérdida de datos fueron los meses de enero, marzo y diciembre. A pesar de ello, 10 estaciones (32%) presentaron saltos mínimos y se hizo la primera corrección de datos, siendo éstas: San Gaban, Quillabamba, Curahuasi, Calca, Acomayo, Ollachea, Combapata, Santa Rosa, Písaq y Crucero. (véase **Tabla 50**, **Tabla 51** y **Figura 237**). Del análisis de tendencia en la media, se puede indicar que, los datos son consistentes y que ninguna estación requiere de la segunda corrección de datos (véase **Tabla 52**). La completación de datos se realiza mediante el método CUTOFF, formándose 7 grupos para elegir al grupo con mínimas variaciones del promedio y la desviación estándar multimensual (véase **Tabla 148-Tabla 151**).
- **CONCLUSIÓN N° 04 DE LA SUB HIPÓTESIS 03.** Se confirma la sub hipótesis de manera parcial, porque la precipitación mensual CHIRPS con respecto a la precipitación observada:
  - En general, hay mucho mayores Probabilidades de Detección de la precipitación mensual para el umbral de 60 mm que la generación de Falsa Alarma (**Figura 238**).
  - De 31 estaciones, tiene Sesgo muy bueno y bueno (71%), Eficiencia muy buena y buena (78%) y correlación Excelente y buena (90%). Los resultados óptimos se generan en su mayoría en las estaciones ubicadas desde la estación Písaq aguas arriba del río Vilcanota en dirección sur este de la cuenca. CHIRPS subestima la precipitación considerado como sesgo insatisfactorio en zonas de ceja de selva como Chontachaca, San Gaban y Machupicchu y sobrestima como sesgo insatisfactorio en zonas de quebrada como Cunyac, Urubamba, Paucartambo y Macusani (**Figura 240**, **Figura 241** y **Figura 242**).
  - CHIRPS estima mejor la precipitación en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, según se detalla en el ítem 4.1.2.4.
  - El producto PISCO tiene mejores indicadores que CHIRPS y CHIRPM, (véase **Figura 243** al **Figura 249** y Anexo A.3), excepto en las estaciones que no utiliza para su generación: Anta, Combapata, Crucero, Cunyac, Nuñoa, Písaq y Yauri.



- **CONCLUSIÓN N° 05 DE LA SUB HIPÓTESIS N° 04.** Se confirma la sub hipótesis de manera parcial, concluyéndose así la evaluación precipitación CHIRPS con respecto a la precipitación observada:
  - En cuanto a la precipitación estacional, en general se obtiene mejores indicadores MAE, PBIAS, NSE y Correlación que la precipitación mensual, en las estaciones ubicadas desde Pisaq aguas arriba del río Vilcanota en dirección sur este de la cuenca. De manera general se puede indicar que, CHIRPS estima mejor la precipitación en las estaciones SON, DEF, MAM, según se detalla en el ítem 4.1.3.2 (también véase las Figuras **Figura 250** a la **Figura 253**).
  - En cuanto a la precipitación anual, los resultados óptimos y regulares se obtienen en el MAE y PBIAS. La totalidad de las estaciones muestran eficiencia insatisfactoria. La correlación en su mayoría se muestra como mala.
  - Comparativo con los productos CHIRPM y PISCO. En la precipitación estacional el producto PISCO tiene mejores indicadores que CHIRPS y CHIRPM, (véase **Figura 254** y **Figura 255** y Anexo A.4), excepto en las 7 estaciones que en su mayoría no utiliza para su generación: Cunyac, Nuñoa, Anta, Combapata, Macusani, Yauri y Crucero. En la precipitación anual, PISCO es mejor que CHIRPS y CHIRPM (véase **Figura 260** y **Figura 261** y Anexo A.5), excepto en 5 estaciones: Cunyac, Nuñoa, Anta, Paruro y Crucero.
- **CONCLUSIÓN N° 06 DE LA SUB HIPÓTESIS N° 05.** Se logró demostrar la sub hipótesis. El modelo de Redes Neuronales Artificiales (RNA), hace posible la corrección de la Precipitación estimada por satélite del producto CHIRPS. es así que, fue posible corregir el 78% de la totalidad de los datos mensuales estimados por satélite CHIRPS, de éstas el 44% mediante el modelo RNA-3, el 33% mediante el modelo RNA-2 y el 23% mediante el modelo RNA-1; por otro lado, en el 22% restante de la precipitación mensual no ha sido posible la corrección porque las variables de entrada de dichos meses no convergen en un resultado respecto a la salida objetivo, siendo ésta una de las desventajas del Modelo de Redes Neuronales Artificiales, por lo que se completó mediante el método CUTOFF en base al resto de datos corregidos.
- **CONCLUSIÓN N° 7 DE LA SUB HIPÓTESIS N° 6.** Se confirma la sub hipótesis, pues la estimación de la precipitación CHIRPS\_RNA mejora con respecto a la precipitación CHIRPS.



De 31 estaciones CHIRPS y CHIRPS\_RNA.

- Para la precipitación mensual, se aumenta las Probabilidades de Detección en el 77% de las estaciones y se reduce la generación de Falsa Alarma en el 45% (**Figura 264, Figura 267, Tabla 166, y Tabla 168**).
- Así como se muestra en la **Tabla 174**, en general hay mejora en las tres escalas temporales (mensual, estacional y anual).
- En la precipitación mensual, se mejora en más de 20% el MAE, PBIAS y Correlación
- En la precipitación estacional, se mejora en más de 20% el MAE, PBIAS y NSE
- En la precipitación anual, se mejora en más de 20% el MAE y PBIAS.
- El MAE y PBIAS son los indicadores estadísticos que más se mejoran con RNA.
- CHIRPS\_RNA en comparación de PISCO Y CHIRPM es mejor en las estaciones que no se utilizaron para generar PISCO y CHIRPM y otras que si se utilizaron como: Anta, Machupicchu, Chuquibambilla, Paucartambo, Quebrada, Paruro, Quillabamba, Ollachea y Sicuani.



## Recomendaciones

**Recomendación 01.** Para la descarga de datos de precipitación estimadas por satélite, se recomienda hacerlo mediante algoritmos que automaticen la descarga como el que se adjunta en el anexo A.1.

**Recomendación 02.** Para la evaluación de la calidad de la precipitación estimada por satélite de otros productos dentro de la cuenca del río Vilcanota disponibles, se recomienda a parte de utilizar los indicadores estadísticos de validación categórica y de comparación por pares de esta investigación hacer un análisis de probabilidad para determinar la función de probabilidad.

**Recomendación 03.** Para la corrección mediante RNA de la precipitación, se recomienda disponer de un gran periodo de tiempo de datos posible, pues el entrenamiento de los modelos mejora en función de la cantidad de datos disponibles.

**Recomendación 04.** Para otros estudios de similar análisis mediante RNA, se recomienda integrar mas variables de entrada como: Temperatura, radiación, evapotranspiración, etc.

**Recomendación 05.** Para otros estudios de similar análisis mediante RNA, se recomienda aglomerar estaciones con similar modelo y arquitectura de RNA y formar regiones homogéneas para corregir datos CHIRPS donde no existe estaciones pluviométricas.

**Recomendación 06.** Se recomienda utilizar la precipitación CHIRPS y CHIRPS\_RNA con el cuidado especial en trabajos de gestión, monitoreo hidrometeorológico y modelización de la disponibilidad hídrica en cuencas con limitaciones en términos de cobertura espacial y uniformidad temporal.

**Recomendación 07.** De acuerdo a los bajos indicadores estadísticos de la precipitación diaria CHIRPS, lo que muestra la limitación en la detección de valores extremos de corta duración; CHIRPS no puede reemplazar a las estaciones in situ y los datos antes y después de la corrección mediante RNA, no pueden ser utilizados para cálculos de caudales máximos de avenida.



## Referencias

- (ANA), A. N. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. Lima: Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos.
- Aliaga Araujo, S. (1983). *Tratamiento de datos hidrometeorológicos*. Lima-Peru.
- Almazroui, M. (2011). *Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998-2009*. Atmospheric Research. doi:10.1016/j.atmosres.2010.11.006
- Alvarez, A. A. (2015). *Generación de caudales con modelos de redes neuronales artificiales a partir de las características de una cuenca*. Huancayo - Peru: Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil - Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Asencios, H. J. (2016). *Corrección del sesgo de la precipitación estimada por satélite para la simulación de caudales en la cuenca del Río Rimac*. Lima-Peru: Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola - Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Asurza, F. A. (2017). *Comparación de los productos TRMM y GPM para el modelamiento hidrológico en la cuenca del Río Huancane*. Lima-Peru: Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola-Universidad Agraria la Molina.
- Aybar, C., Fernandez, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Obando, O. (2019). *Construction of a high-resolution gridded 1 rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day*. Hydrological Sciences Journal. Obtenido de <http://mc.manuscriptcentral.com/hsj>
- Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega, F., & Sabino, E. &.-O. (2017). *Uso del Producto Grillado "PISCO" de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017*. Lima-Peru.
- Bader, M. J., Grant, J. R., Waters, A. J., & Forbes, G. J. (1995). *Images in Weather Forecasting: A Practical Guide for Interpreting Satellite and Radar Imagery*. Cambridge University Press.
- Bertona, L. F. (2005). *Entrenamiento de Redes Neuronales Artificiales basado en algoritmos evolutivos*. Universidad de Buenos Aires. Argentina.



- Cahuana, A., & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. Cochabamba-Bolivia.
- Carrasco, M., Yarlequé, C., & Posadas, A. (2010). *Datos faltantes de precipitación pluvial diaria mediante la transformada Wavelet*. Revista Peruana Geo-Atmosférica.
- Castellano, M. (2009). *Modelización estadística con Redes Neuronales*. Coruña - España: Aplicación a la hidrología, aerobiología y modelización de procesos.
- Castro, E. S. (2014). *Evaluación de imágenes satelitales de precipitaciones (TRMM 3B43 mensual) en Región Costa, Sierra y Oriente del Ecuador*. Cuenca - Ecuador: Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima: PUCP.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.
- Collarani, F., & Villazon, M. (2018). Validación del satélite meteorológico CHIRPS en la cuenca Rurrenabaque-Bolivia.
- Collarani, F., & Villazon, M. F. (2018). *Validación del Satélite Meteorológico CHIRPS en la Cuenca Rurrenabaque-Bolivia*. Universidad Nacional Agraria la Molina-Laboratorio de Hidráulica Universidad Mayor de San Simón.
- Conway, E. D. (1997). *An Introduction to Satellite Image Interpretation*. The Johns Hopkins University Press.
- Díaz, R. (2013). *Estudio de caracterización climática de la precipitación pluvial y temperatura del aire para las cuencas de los ríos Coata e Ilave*. Puno: SENAMHI.
- Feng, L., Nowak, G., O'Neill, T., & Welsh, A. (2014a). *CUTOFF: A spatio-temporal imputation method*. *J. Hydrol.* doi:doi:10.1016/j.jhydrol.2014.11.012
- Feng, L., Nowak, G., Welsh, A., & O'Neill, T. (2014b). *cutoffR: CUTOFF: A Spatio-temporal Imputation Method*.
- Fernandez, C., & SENAMHI. (2015). *Generación de base de datos de precipitación mensual grillada de alta resolución a nivel nacional 1981-2013*. Lima-Peru: SENAMHI.



- Fernandez, C., & SENAMHI. (2016). *Asimilación y evaluación de datos de precipitación en base a satélite en el modelamiento hidrológico de la cuenca del Rio Vilcanota*. Lima - Peru: SENAMHI.
- Fisher, R. A. (1915). *Frequency distribution of the values of the correlation coefficients in samples from an indefinitely large population*. doi:Biometrika, 10(4):507–521
- Flores, R., & Fernández, J. M. (2008). *Las Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas*. La Coruña. España.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., . . . Michaelsen, J. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes*. Scientific Data 2. doi:doi:10.1038/sdata.2015.66 2015
- Galvez, P. R. (2017). *Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del Río Mantaro*. Lima-Peru: Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Recursos Hidricos.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). México: Mc Graw Hill International Editions.
- Hernández, L. (2006). *Predicción y Optimización de emisores y consumo mediante Redes Neuronales en motores Diesel*. Barcelona: Editorial REVERTÉ.
- Hesel, D., & Hirsch, R. (2002). *Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations*. Book 4, chapter A3. U.S. Geological Survey.
- Hessels, T. M. (2015). *Comparison and validation of several open access remotely sensed rainfall products for the Nile basin*. Master's thesis, TU Delft, Delft University of Technology.
- Hilera, J. R., & Martínez, V. J. (1995). *Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones*. Madrid: Ediciones RA-MA.
- Hilera, J., & Martínez, V. (1995). *Redes Neuronales Artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones*. Madrid: RA-MA Editorial.



- Huffman, G. J., Adler, R. F., Arkin, P., Chang, A., Ferraro, R., Gruber, A., . . . Schneider, U. (1997). *The global precipitation climatology project (gpcp) combined precipitation dataset*. Bulletin of the American Meteorological Society.
- Joyce, R. J., Xie, P., Yarosh, Y., Janowiak, J. E., & Arkin, P. A. (2010). *CMORPH: A "morphing" approach for high resolution precipitation product generation*. In Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology.
- Kidd, C., Levizzani, V., Turk, J., & Ferraro, R. (2009). *Satellite Precipitation Measurements for Water Resource Monitoring*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association.
- Kidder, S. Q., & Haar, T. H. (1995). *Satellite meteorology: an introduction*. Gulf Professional Publishing.
- Lavado, W., Fernandez, C., Vega, F., Caycho, T., Endara, S., Huerta, A., & Obando, O. (2015). *PISCO: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations. Precipitación v1.0*. SENAMHI.
- Lavado-Casimiro, W., Aybar, C., Huerta, A., Sabino, E. Z., & O., F.-O. (2016). *Generación de datos grillados de precipitación diaria (PISCO Pd 1981-2015) y su utilidad para la estimación de umbrales de precipitaciones máximas*. Lima-Peru: SENAMHI.
- Liu, G., & Curry, J. A. (1992). *Retrieval of precipitation from satellite microwave measurement using both emission and scattering*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres.
- Lujano, E., & Felipe, O. G. (2013). *Validación y corrección de la precipitación estimada por satélite TRMM aplicando redes neuronales artificiales*. SENAMHI.
- Machaca, L. C. (2016). *Estimación de la evapotranspiración de referencia utilizando modelos de redes neuronales artificiales en función de elementos climáticos en la cuenca del Río Huancané*. Puno: Para optar el título de Ingeniero Agrícola - Universidad Nacional del Altiplano.
- Mateo, J. (2012). *Aplicación de Redes Neuronales Artificiales en el procesado versátil de señales electrocardiográficas*. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- McCulloch, W., & Pitts, W. (1943). *A logical calculus of the ideas immanent in neurons activity*. Bulletin of Mathematical Biophysics.



- Méndez, R. A. (2016). *Productos de precipitación satelital de alta resolucion espacial y temporal en zonas de topografia compleja*. Santiago de Chile: Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería - Pontificia Universidad Catolica de Chile.
- Molnar, P. (2011). "*Calibration*". *Watershed Modelling, SS 2011*. ETH Zürich. Switzerland.: Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., & Harmel, R. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. doi:10.13031/2013.23153
- Mosqueira, I. (2016). *Ajuste de los datos de precipitación pluvial obtenidos remotamente por el satélite meteorológico TRMM para ser aplicado en la Región Cusco*. Tesis para optar el titulo de Ingeniero Civil - Universidad Andina del Cusco.
- OMM. (2011). *Guía de Prácticas Hidrológicas OMM-N° 168*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2014). *Guia de instrumentos y metodos de observacion meterológico OMM N° 8*. Ginebra: Organizacion Meteorológica Mundial.
- Oñate, F. (s.f.). *Hidrologia (Apuntes de clase)*. Loja: Universidad Tecnica Particula de Loja.
- PN-PMI. (1979). *Diagnóstico de la cuenca alta del Rio Vilcanota*. Cusco: Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones-PLAN MERIS.
- Rao, P. K., Holmes, S. J., Anderson, R. K., Winston, J. S., & Lehr, P. E. (1990). *Weather satellites: Systems, data, and environmental applications*. Boston, MA: American Meteorological Society.
- Renom, M. (2011). *Principios basicos de las mediciones atmosfericas*. Uruguay: Departamento de Ciencias de la Atmosfera.
- Retalis, A., Tymvios, F., Katsanos, D., & Michaelides, S. (2017). *Downscaling CHIRPS precipitation data: an artificial neural network modelling approach*. International Journal of Remote Sensing. doi:DOI: 10.1080/01431161.2017.1312031



- Rumelhart, D., Hinton, G., & Williams, R. (1986). *Learning internal representations by error propagation*. Cambridge: MIT Press.
- Saw, B. L. (2005). *Infrared and passive microwave satellite rainfall estimate over tropics*. Master's thesis, University of Missouri-Columbia.
- Segerer, C., & Villodas, R. (2006). *Hidrologia I*. Mendoza-Argentina.
- Serrano, A. J., Soria, E., & Martín, J. D. (2009). *Redes neuronales artificiales*. Universidad de Valencia.
- Taylor, K. (2005). *Taylor Diagram Primer*. Working Paper no. January: 1-4.
- Ticona, J. C. (2013). *Implementación de redes neuronales en el modelo de generación de caudales de Scholz aplicado en cuencas hidrográficas del Perú*. Lima - Peru: Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil - Universidad Nacional de Ingeniería.
- Torra, S., & Monte, E. (2013). *Modelos Neuronales aplicados en Economía: casos prácticos mediante mathematica / Neuronal Networks*. Barcelona. España.
- UCAR. (2012). *Guía de referencia para sistemas de alerta temprana de crecidas repentinas*.
- Urrea, V., Ochoa, A., & Mesa, O. (2016). *Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el periodo 1981-2014*. Medellín-Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Villon, M. (2002). *Hidrologia*. Cartago: MaxSoft.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. International geophysics. Academic Press.
- Yupanqui, R., & SENAMHI. (2015). *Validación de datos CHIRPS de precipitación para monitoreo de periodos secos y húmedos en el Perú*. Lima-Peru: SENAMHI.



## Anexos