

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“VALIDACIÓN DE LOS PRODUCTOS TRMM Y CHIRPS  
PARA LA INTERCUENCA ALTO APURÍMAC”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**JOHN DAVID RODRIGUEZ MAMANI**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**“VALIDACIÓN DE LOS PRODUCTOS TRMM Y CHIRPS PARA LA  
INTERCUENCA ALTO APURÍMAC”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. JOHN DAVID RODRIGUEZ MAMANI**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. CAYO LEONIDAS RAMOS TAIPE  
Presidente

Ph.D. EDUARDO ABRAHAM CHÁVARRI VELARDE  
Asesor

Mg. Sc. RICARDO APACLLA NALVARTE  
Miembro

Mestre JORGE LUIS DÍAZ RIMARACHIN  
Miembro

LIMA – PERU

2021

## **DEDICATORIA**

A mi familia que fue el impulso para culminar esta etapa de mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por proporcionar información pluviométrica para el desarrollo de la investigación.

Agradecimientos a mi asesor el Dr. Eduardo Chávarri por su apoyo incondicional en el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1  |
| 1.1. Objetivo general .....   | 2  |
| 1.2. Objetivos específicos.....   | 2  |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....   | 3  |
| 2.1. Precipitación.....   | 3  |
| 2.1.1. Precipitación Ciclónica.....   | 3  |
| 2.1.2. Precipitación Convectiva.....  | 3  |
| 2.1.3. Precipitación Orográfica.....  | 4  |
| 2.2. Misión de Medición de las Precipitaciones Tropicales (TRMM).....                           | 4  |
| 2.2.1. Instrumentos del TRMM .....  | 4  |
| 2.3. Grupo de Riesgo del Clima Precipitación Infrarroja con Datos de Estación<br>(CHIRPS) ..... | 6  |
| 2.3.1. Características del Producto CHIRPS .....  | 7  |
| 2.4. Enfoques para la espacialización de la precipitación .....                                 | 8  |
| 2.4.1. Métodos Determinísticos.....   | 8  |
| 2.4.2. Métodos Estocásticos .....   | 9  |
| 2.5. Análisis Exploratorio de Datos.....  | 10 |
| 2.6. Análisis estructural.....  | 11 |
| 2.6.1. Variograma .....   | 11 |
| 2.6.2. Predicción .....   | 12 |
| 2.7. Medidas de Evaluación .....  | 14 |
| 2.7.1. Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).....  | 14 |
| 2.7.2. Coeficiente de correlación de Pearson.....   | 15 |
| 2.7.3. Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).....  | 15 |
| <b>III. METODOLOGÍA</b> .....   | 17 |
| 3.1. Materiales .....   | 17 |
| 3.1.1. Descripción de la zona de estudio .....  | 17 |
| 3.1.2. Información Meteorológica .....  | 18 |
| 3.1.3. Precipitación Estimada por Satélite.....   | 22 |
| 3.1.4. Información cartográfica .....   | 22 |
| 3.1.5. Zonificación Climática .....   | 23 |
| 3.1.6. Equipos y programas de cómputo .....   | 24 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.2. Metodología.....                                    | 25        |
| 3.3. Análisis exploratorio de datos (AED) .....          | 26        |
| 3.3.1. Histograma .....                                  | 26        |
| 3.3.2. Validación de la fuente de información.....       | 26        |
| 3.4. Modelo Multiplicativo.....                          | 27        |
| 3.5. Evaluación estadística .....                        | 28        |
| 3.6. Método del Vector Regional .....                    | 29        |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                  | <b>31</b> |
| 4.1. Análisis exploratorio de datos .....                | 31        |
| 4.1.1. Análisis de la información de precipitación ..... | 31        |
| 4.2. Regionalización .....                               | 36        |
| 4.3. Completación de información .....                   | 41        |
| 4.4. Índices de eficiencia de detección de lluvia .....  | 41        |
| 4.5. Corrección de información .....                     | 43        |
| 4.6. Análisis espacial .....                             | 54        |
| <b>V. CONCLUSIONES.....</b>                              | <b>63</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>                          | <b>65</b> |
| <b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>                            | <b>66</b> |
| <b>VIII. ANEXOS .....</b>                                | <b>70</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Estaciones Pluviométricas del SENAMHI.....   | 20 |
| Tabla 2: Cartas nacionales sobre la Intercuenca Alto Apurímac.....  | 22 |
| Tabla 3: Comparación de mediciones de pluviómetros y estimaciones por satélite .....  | 28 |
| Tabla 4: Estadísticos de validación categórica .....  | 29 |
| Tabla 5: Información disponible de las 26 estaciones del SENAMHI.....   | 35 |
| Tabla 6: Resultados de la aplicación del método de vector regional a los datos producto<br>de la regionalización precipitación promedio anual vs altitud..... | 37 |
| Tabla 7: Resultados para la regionalización mediante el Método del Vector Regional –<br>Precipitación/Altitud .....   | 40 |
| Tabla 8: Índices de eficiencia de detección de lluvia .....   | 42 |
| Tabla 9: Resultados de validación a nivel regional y estacional .....   | 48 |
| Tabla 10: Resultados de validación a nivel punto - grilla .....   | 50 |
| Tabla 11: Resultados de validación a nivel mensual y zonal .....  | 53 |
| Tabla 12: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Acomayo.....   | 71 |
| Tabla 13: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Caylloma.....  | 72 |
| Tabla 14: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Ccatcca.....   | 73 |
| Tabla 15: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Chichas .....  | 74 |
| Tabla 16: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Chilcayoc .....  | 75 |
| Tabla 17: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Chivay.....  | 76 |
| Tabla 18: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Choco.....   | 77 |
| Tabla 19: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Colquepata.....  | 78 |
| Tabla 20: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Coracora.....  | 79 |
| Tabla 21: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Cotahuasi .....  | 80 |
| Tabla 22: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Curahuasi.....   | 81 |
| Tabla 23: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Granja Kcayra.....   | 82 |
| Tabla 24: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Imata .....  | 83 |
| Tabla 25: Registro histórico de precipitación total mensual – estación La Angostura .....   | 84 |
| Tabla 26: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Madrigal.....  | 85 |
| Tabla 27: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Pampahuta .....  | 86 |
| Tabla 28: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Paruro.....  | 87 |
| Tabla 29: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Pisac.....   | 88 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 30: Registro histórico de precipitación total mensual – estación – Pomacanchi..... | 89 |
| Tabla 31: Registro histórico de precipitación total mensual – estación – Porpera.....    | 90 |
| Tabla 32: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Santa Rosa .....  | 91 |
| Tabla 33: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Santo Tomas ..... | 92 |
| Tabla 34: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Sibayo .....      | 93 |
| Tabla 35: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Sicuani .....     | 94 |
| Tabla 36: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Tambobamba .....  | 95 |
| Tabla 37: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Yauri .....       | 96 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Sensores del Satélite TRMM .....  | 5  |
| Figura 2: Esquema general del producto CHIRPS .....   | 6  |
| Figura 3: Representación de un Variograma .....   | 12 |
| Figura 4: Ubicación Intercuenca Alto Apurímac .....   | 18 |
| Figura 5: Precipitación de la estación La Angostura.....  | 19 |
| Figura 6: Distribución espacial de estaciones pluviométricas del SENAMHI en la zona de estudio .....                    | 21 |
| Figura 7: Distribución de cartas nacionales en la zona de estudio .....   | 23 |
| Figura 8: Mapa Climático del Perú – Intercuenca Alto Apurímac.....  | 24 |
| Figura 9: Metodología seguida para la presente investigación.....   | 25 |
| Figura 10: Histograma de precipitación promedio mensual para 26 estaciones del SENAMHI .....                            | 31 |
| Figura 11: Tendencia de la precipitación promedio anual respecto a la altitud .....                                     | 32 |
| Figura 12: Tendencia de la precipitación promedio anual respecto a la latitud .....                                     | 33 |
| Figura 13: Tendencia de la precipitación promedio anual respecto a la longitud .....                                    | 34 |
| Figura 14: Regionalización mediante precipitación promedio anual vs altitud .....                                       | 36 |
| Figura 15: Índices anuales del vector regional para la zona I .....   | 38 |
| Figura 16: Índices anuales del vector regional para la zona II .....  | 38 |
| Figura 17: Índices anuales del vector regional para la zona III.....  | 39 |
| Figura 18: Índices anuales del vector regional para la zona IV.....   | 39 |
| Figura 19: Histograma de información del SENAMHI, Producto TRMM y Producto TRMM corregido.....                          | 43 |
| Figura 20: Histograma de comparación de la precipitación del SENAMHI, Producto CHIRPS y Producto CHIRPS corregido ..... | 44 |
| Figura 21: Histograma de comparación de la precipitación del SENAMHI, Producto CHIRPS y Producto CHIRPS corregido ..... | 45 |
| Figura 22: Comparación datos SENAMHI y producto TRMM corregido.....   | 47 |
| Figura 23: Comparación datos SENAMHI y producto CHIRPS corregido.....   | 48 |
| Figura 24: Zonificación climática para el producto CHIRPS.....  | 55 |
| Figura 25: Zonificación climática para el producto TRMM .....   | 56 |
| Figura 26: Mapas de validación de resultados.....   | 57 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 27: Serie corregida estación Acomayo.....                          | 97  |
| Figura 28: Serie corregida estación Caylloma.....                         | 97  |
| Figura 29: Serie corregida estación Ccatcca.....                          | 98  |
| Figura 30: Serie corregida estación Chichas .....                         | 98  |
| Figura 31: Serie corregida estación Chilcayoc .....                       | 98  |
| Figura 32: Serie corregida estación Chivay.....                           | 99  |
| Figura 33: Serie corregida estación Choco.....                            | 99  |
| Figura 34: Serie corregida estación Colquepata .....                      | 99  |
| Figura 35: Serie corregida estación Coracora .....                        | 100 |
| Figura 36: Serie corregida estación Cotahuasi .....                       | 100 |
| Figura 37: Serie corregida estación Curahuasi .....                       | 100 |
| Figura 38: Serie corregida estación Granja Kcayra.....                    | 101 |
| Figura 39: Serie corregida estación Imata .....                           | 101 |
| Figura 40: Serie corregida estación La Angostura .....                    | 101 |
| Figura 41: Serie corregida estación Madrigal .....                        | 102 |
| Figura 42: Serie corregida estación Pampahuta .....                       | 102 |
| Figura 43: Serie corregida estación Paruro .....                          | 102 |
| Figura 44: Serie corregida estación Pisac.....                            | 103 |
| Figura 45: Serie corregida estación Pomacanchi.....                       | 103 |
| Figura 46: Serie corregida estación Porpera.....                          | 103 |
| Figura 47: Serie corregida estación Santa Rosa .....                      | 104 |
| Figura 48: Serie corregida estación Santo Tomas .....                     | 104 |
| Figura 49: Serie corregida estación Sibayo .....                          | 104 |
| Figura 50: Serie corregida estación Sicuani .....                         | 105 |
| Figura 51: Serie corregida estación Tambobamba .....                      | 105 |
| Figura 52: Serie corregida estación Yauri .....                           | 105 |
| Figura 53: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de enero .....   | 106 |
| Figura 54: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de enero.....      | 107 |
| Figura 55: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de febrero ..... | 108 |
| Figura 56: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de febrero .....   | 109 |
| Figura 57: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de marzo.....    | 110 |
| Figura 58: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de marzo.....      | 111 |
| Figura 59: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de abril .....   | 112 |
| Figura 60: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de abril .....     | 113 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 61: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de mayo .....           | 114 |
| Figura 62: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de mayo.....              | 115 |
| Figura 63: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de junio.....           | 116 |
| Figura 64: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de junio .....            | 117 |
| Figura 65: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de julio .....          | 118 |
| Figura 66: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de julio .....            | 119 |
| Figura 67: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de agosto .....         | 120 |
| Figura 68: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de agosto .....           | 121 |
| Figura 69: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de setiembre .....      | 122 |
| Figura 70: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de setiembre .....        | 123 |
| Figura 71: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de octubre.....         | 124 |
| Figura 72: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de octubre.....           | 125 |
| Figura 73: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de noviembre.....       | 126 |
| Figura 74: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de noviembre.....         | 127 |
| Figura 75: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de diciembre.....       | 128 |
| Figura 76: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de diciembre.....         | 129 |
| Figura 77: Distribución de estaciones según zona climática.....                  | 130 |
| Figura 78: Isoyeta de precipitación total anual – Intercuenca Alto Apurímac..... | 131 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 1: Información histórica de las precipitaciones total mensual .....  | 71  |
| Anexo 2: Series corregidas mediante el modelo multiplicativo / Punto - Grilla.....   | 97  |
| Anexo 3: Resultados de aplicación del coeficiente de correlación de Pearson (PPMCC)<br>y el índice de eficiencia de Nash (NSE) ..... | 106 |
| Anexo 4: Distribución de estaciones según el mapa de regiones climáticas.....  | 130 |
| Anexo 5: Precipitación en la Intercuenca Alto Apurímac .....   | 131 |

## RESUMEN

Se validó la información de los productos satelitales TRMM y CHIRPS a nivel mensual para el periodo 1998 – 2016, en la Intercuenca Alto Apurímac a fin de determinar el más adecuado producto para la zona de estudio. Se determinó que no existe una marcada relación entre la altitud y la precipitación, por lo cual se realizó una regionalización por regiones climáticas, las cuales fueron validadas mediante la aplicación del Método del Vector Regional. Se evaluaron los índices de detención de lluvia POD, FAR, CSI, PC, FBIAS, determinándose que existe una sobreestimación de la lluvia para ambos productos, por lo cual se aplicó un modelo de corrección a la información estimada a nivel regional-mensual, regional-estacional y punto-grilla. A nivel regional-mensual el producto CHIRPS presenta una correlación y mejor desempeño en los meses de lluvia. A nivel regional-estacional en el periodo JJA, ambos productos presentan un bajo desempeño y una baja correlación. A nivel punto-grilla, existe una mejor correlación y un desempeño del modelo entre bueno y excelente por parte del producto CHIRPS corregido, resaltando las estaciones de la Zona 3. Sin embargo, las diferencias no son significativas en comparación del producto TRMM corregido, brindando resultados confiables para los productos TRMM y CHIRPS. Se concluyó que la información de precipitación estimada del producto TRMM y CHIRPS corregido para un análisis a nivel punto – grilla presenta un mejor correlación y desempeño del modelo multiplicativo, en comparación de un análisis estacional – regional y mensual – regional, siendo este último el que presenta una menor correlación y eficiencia en el desempeño en el modelo de predicción. Se evaluaron los métodos de interpolación IDW, Spline y Kriging, determinándose que para la zona de estudio el método de interpolación IDW presenta una mejor correlación positiva en la mayoría de meses para la zona de estudio.

**Palabras claves:** TRMM, CHIRPS, regionalización, validación, Vector Regional.

## ABSTRACT

The information about TRMM and CHIRPS satellite products was validated monthly for the period 1988-2016 in the Alto Apurimac inter - basin to determine the most suitable product for the study area. It was determined that there is no strong relationship between altitude and precipitation, for which a regionalization was carried out by climatic regions, which were validated by applying the Regional Vector Method. The rain arrest indices POD, FAR, CSI, PC, FBIAAS were evaluated, determining that there is an overestimation of rain for both products, for which a correction model was applied to the estimated information at the regional-monthly, regional -seasonal and point-grid. At the regional-monthly level, the CHIRPS product presents a correlation and better performance in the rainy months. At the regional-seasonal level in the JJA period, both products show a low performance and correlation. At the point-grid level, there is a better correlation and model performance between good and excellent by the corrected CHIRPS product, highlighting the stations in Zone 3. However, the differences are not significant compared to the corrected TRMM product, provided reliable results for TRMM and CHIRPS products. It was concluded that the estimated precipitation information of the TRMM and CHIRPS product corrected for an analysis at the point - grid level presents a better correlation and performance of the multiplicative model, compared to a seasonal - regional and monthly - regional analysis, the latter being the one that presents a lower correlation and efficiency in performance in the prediction model. The IDW, Spline and Kriging interpolation methods were evaluated, determining that for the study area the IDW interpolation method presents a better positive correlation in most months for the study area.

**Keywords:** TRMM, CHIRPS, regionalization, validation, Regional Vector.

## I. INTRODUCCIÓN

“Uno de los mayores problemas que se afronta en los estudios de aprovechamiento de los recursos hidráulicos de una región, es el de saber si la información básica disponible posee la suficiente confiabilidad, de modo que permita la extrapolación de los datos puntuales hacia el área total” (Guevara, 2015).

En nuestro país la obtención de información de variables climatológicas como la precipitación, mediante estaciones meteorológicas se ve limitada debido a la accidentada geografía que presenta nuestra región, así como la no uniforme distribución de las estaciones meteorológicas, haciendo que esta información sea insuficiente para la realización de pronósticos, estudios o estimaciones, ocasionando que la información faltante sea estimada mediante métodos empíricos, generando una subestimación o sobrestimación, pudiendo ocasionar sobrecostos en la elaboración de proyectos los cuales no necesariamente cumplirán su función o puedan presentar fallas en un corto periodo de funcionamiento. Asimismo, la escasa información pluviométrica hace que los estudios de balance hídrico puedan carecer de confiabilidad, pudiendo ocasionar conflictos sociales.

Como alternativa a las estaciones climatológicas in situ existen los productos satélites, entre ellos tenemos a los programas Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), los cuales brindan series históricas que permiten monitorizar y analizar las tendencias de la precipitación. La información satelital permite obtener datos de precipitación en zonas donde debido a las condiciones climáticas y la topografía se dificulta el acceso, bien para la implementación de una estación in situ o para la realización de las mediciones de esta.

La elección de ambas fuentes se da debido a que el producto TRMM consiste en un algoritmo que produce combinaciones de alta calidad de estimaciones de precipitación y el producto CHIRPS utiliza como parte de su información al producto TRMM e información de

estaciones, siendo mayor el desempeño del producto CHIRPS en áreas que cuentan con una gran densidad de estaciones de apoyo.

En el presente trabajo se seleccionó la Intercuenca Alto Apurímac, en la cual habita una población andina que se dedica a realizar actividades de subsistencia tales como: ganadería y agricultura, también es una zona propicia para el desarrollo de la actividad minera (Salgado Montesinos, 2012). Ésta en los últimos años ha sido escenario de diversos conflictos por el uso del recurso hídrico debido a la falta de confiabilidad en los estudios de balance hídrico realizados en la zona, debido a que en la cuenca existe una escasa red de estaciones climatológicas sobre su superficie, las cuales debido a diversos factores no presenta una serie histórica continúa de datos en todas sus estaciones.

Finalmente, dentro de la intercuenca Alto Apurímac se encuentra emplazado el futuro proyecto Majes – Sigvas II. El trabajo de tesis realizado aporta una metodología que permite completar series de datos como la precipitación, y aportaría en el reforzamiento de estudios básicos de dicho proyecto.

### **1.1. Objetivo general**

Validar la información de precipitación total mensual estimada mediante el sensor remoto TRMM 3B43 y el producto CHIRPS V2, con los datos registrados en las estaciones pluviométricas de la Intercuenca Alto Apurímac.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Calcular los índices de eficiencia de la precipitación total mensual de los productos TRMM y CHIRPS.
- Comparar la correlación espacial entre la información mensual de los productos TRMM, CHIRPS y los datos de precipitación observada mediante técnicas geoestadísticas y determinísticas.
- Determinar el método más eficiente de interpolación espacial a nivel regional y a nivel punto – grilla



## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Precipitación**

La precipitación está constituida por toda el agua, que de una u otra forma es depositada en la superficie terrestre por la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico (Mejía, 2012). Cuando la temperatura se encuentra sobre los 0°C, la precipitación cae en forma de lluvia y cuando se da en condiciones bajo los 0°C se produce la solidificación del agua haciendo que la precipitación caiga en forma de nieve o de granizo.

La precipitación requiere en un inicio de la formación de nubes, las cuales constan de dos condiciones, un estado de saturación y un cambio de fase de vapor a líquido o sólido, en donde no necesariamente se originará la precipitación, por lo que deben existir núcleos de condensación, conformados por polvo atmosférico o cristales de sales.

Según el movimiento del aire la precipitación se puede clasificar en ciclónica, convectiva y orográfica.

#### **2.1.1. Precipitación Ciclónica**

Sus precipitaciones son de larga duración, originada debido a la elevación del aire caliente sobre el aire frío producto de la colisión de estos, pudiendo clasificarse como precipitación ciclónica frontal y no frontal, donde la primera es producto del avance hacia una región de masa de aire frío o cálido y la segunda es el resultado de una convergencia y ascenso de masa de aire a un área de baja presión.

#### **2.1.2. Precipitación Convectiva**

Se caracteriza por tener una alta intensidad y una corta duración, dándose en zonas localizadas. Se dan producto de la elevación de la temperatura de una masa de aire, debido a la inestabilidad de presión que se origina por la elevación del calor superficial.

### **2.1.3. Precipitación Orográfica**

Se origina debido a al ascenso de aire húmedo debido a zonas montañosas, ocasionando el enfriamiento y posterior condensación de la humedad, pudiendo producir lluvia y/o nieve.

## **2.2. Misión de Medición de las Precipitaciones Tropicales (TRMM)**

La Misión de Medición de las Precipitaciones Tropicales (Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM), es una misión conjunta entre la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacial (NASA) y La Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), lanzada a finales de 1997. El objetivo general de la misión TRMM es determinar el comportamiento espacial y temporal de las precipitaciones en los trópicos y subtropicos (NASA, 2007).

El satélite TRMM es el primero del mundo para el estudio de precipitaciones, tormentas y procesos climáticos en los trópicos, esto gracias a la baja inclinación de su órbita (35°). El TRMM brinda diversos productos dentro de los cuales provee información de precipitación con resoluciones espaciales de 0.25° y 0.50° y una resolución temporal de 3 horas, 24 horas y mensual.

### **2.2.1. Instrumentos del TRMM**

El satélite TRMM lleva cinco instrumentos: un radar de precipitación que por primera vez recoge precipitación sobre el océano, un radiómetro visible-infrarrojo, un sensor de microondas, un sensor que registra la energía procedente de la tierra y las nube, y un sensor detector de relámpagos (Sobrino, 2000).

#### **a. Radiómetro infrarrojo visible (VIRS)**

Proporciona observaciones de alta resolución sobre la cobertura de nubes, el tipo y temperatura en la cima de la nube.

#### **b. TRMM Microwave Imager (TMI)**

Proporciona información cuantitativa de precipitación sobre una franja de la tierra, puede cuantificar el agua líquida en las nubes, vapor de agua, la intensidad de la lluvia.

**c. Radar de precipitación (PR)**

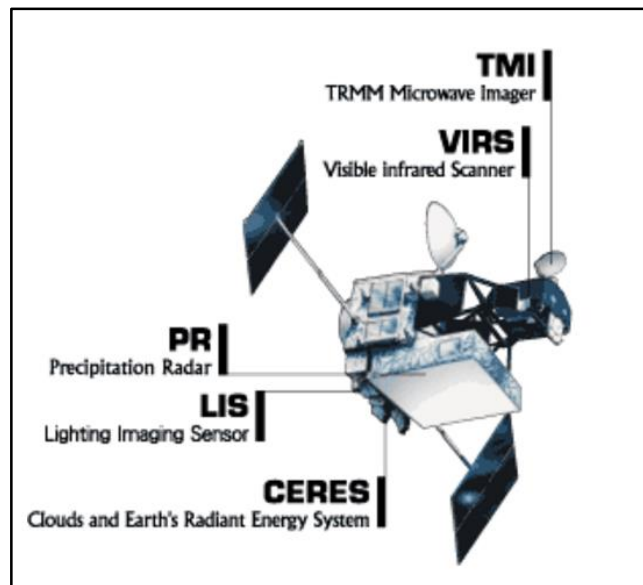
Es el primer radar de escaneo electrónico de precipitación aerotransportado, mide la distribución de la precipitación en 3D sobre el mar y la tierra, siendo su principal característica la de proveer perfiles de lluvia.

**d. Cloud y sensor de energía radiante de la Tierra (CERES)**

Mide la energía en la parte superior de la atmósfera, así como los niveles de energía estimada dentro de la atmósfera y en la superficie de la Tierra.

**e. Sensor de Imágenes de Relámpagos (LIS)**

Es un instrumento pequeño, altamente sofisticado que detecta y localiza relámpagos sobre la región tropical de la tierra.



**Figura 1: Sensores del Satélite TRMM**

FUENTE: <https://trmm.gsfc.nasa.gov/>

Los productos TRMM 3B43 se crean a partir del conjunto de datos del producto 3B42, el cual provee valores de precipitación cada tres horas a una resolución de 0.25°.

Para la presente investigación se utilizó el producto TRMM 3B42\_V7, el cual cuenta

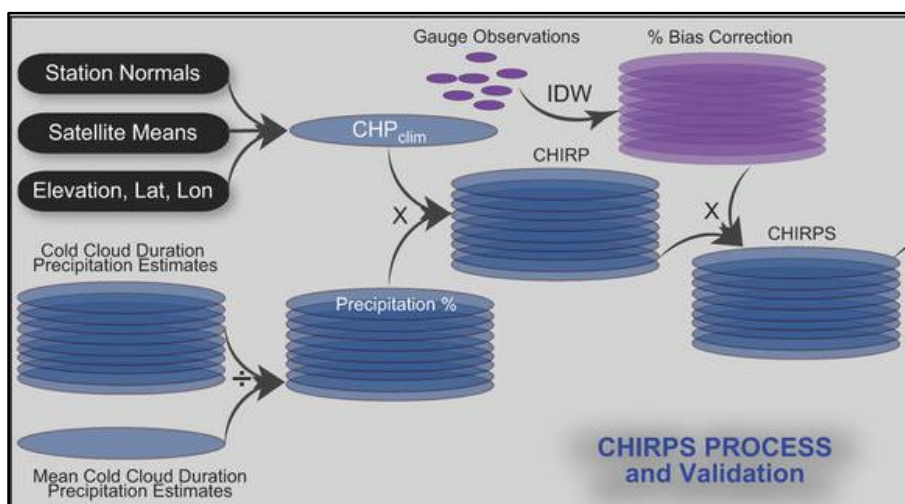
con una cobertura espacial entre la latitud 50°N - 50°S y longitud 180°O -180° E, así mismo información de precipitación (mm /mes) con una resolución espacial o tamaño de pixel de 0.25° (25 km aproximadamente) y una resolución temporal a nivel mensual.

### 2.3. Grupo de Riesgo del Clima Precipitación Infrarroja con Datos de Estación (CHIRPS)

Grupo de Riesgo del Clima Precipitación Infrarroja con Datos de Estación (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data - CHIRPS) es una base de datos de precipitación disponible al público desde 2014 creada y administrada por el U.S. Geological Survey (USGS) y University of California, Santa Bárbara (UCSB) (Urrea, Ochoa, & Mesa, 2016).

Los productos CHIRPS involucran tres componentes principales:

- El grupo Climate Hazards Climación de Precipitación (CHPclim).
- El Clima de Riesgos Climáticos del grupo Precipitación Infrarroja (CHIRP).
- El procedimiento de fusión de estaciones que produce los CHIRPS.



**Figura 2: Esquema general del producto CHIRPS**

FUENTE: <https://www.nature.com/articles/sdata201566>

Desde el año 1999 la “U.S. Geological Survey” (USGS) en conjunto con la universidad de California en Santa Bárbara (UCSB) y con el apoyo de la “” U.S.

Agency International Development (USAID), “National Aeronautics and Space Administration” (NASA) y la “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA), han estado desarrollando técnicas para la generación de datos de precipitación grillados en regiones donde no hay estos registros. Las primeras investigaciones se centraron en la combinación de modelos de mejora de la precipitación inducida por el terreno con datos de la estación interpolados. Esta data sirvió para un número de objetivos de alerta temprana. Las reciente, la USGS y la UCSB combinaron nuevas fuentes de observaciones de satélites, datos de precipitación media de estaciones y modelos de predictores de precipitación basadas en elevaciones, latitud y longitud para generar altas resoluciones (0.05°, aproximadamente 5 km) globales de precipitación mensual media creadas por el “Climate Hazard Precipitation Climatology” (CHPClim) (Funck et al., 2012) (Yupanqui Velez, 2015).

### **2.3.1. Características del Producto CHIRPS**

Los datos de precipitación del CHIRPS contiene información a partir del año 1981 hasta el presente, tiene con una cobertura espacial comprendida entre las latitudes 50°S y 50°N y en todas las longitudes, donde los datos son exclusivamente de zonas terrestres, cuenta con una resolución espacial de 0.05° y 0.25° a nivel mensual y diaria respectivamente. Las resoluciones temporales son días, pentadas (5 días), meses, décadas y años.

Las fuentes de datos utilizadas en la creación de CHIRPS fueron:

- a. CHPClim (Climate Hazards Precipitation Climatology)  
Es el producto de la combinación de observaciones de satélites, datos de precipitación media de estaciones y modelos de predictores de precipitación basadas en elevaciones, latitud y longitud para generar un producto que brindara información de precipitación media mensual con una alta resolución global (0.05°, aproximadamente 5 km) creados por el “Climate Hazard Precipitation Climatology” (CHPClim).
- b. Infrarrojo (IR) térmico geoestacionario
- c. TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)
- d. Modelo atmosférico de campos de precipitación del sistema de predicción climático de la NOAA
- e. Observaciones in situ de precipitación obtenidas de varias fuentes incluidos servicios

meteorológicos estadounidenses y regionales

La alta resolución temporal/especial y control de calidad de CHIRPS permiten que los datos sean utilizados para tareas como el análisis de disponibilidad de agua, simulación y calibración de modelos hidrológicos e hidráulicos, análisis en el sector hidroeléctrico, análisis histórico de extremos de precipitación, estudio de patrones de precipitación y su variabilidad a escala nacional y regional.

## **2.4. Enfoques para la espacialización de la precipitación**

### **2.4.1. Métodos Determinísticos**

Los métodos de interpolación determinísticos calculan un valor para celda de la cuadrícula usando únicamente las propiedades físicas de las muestras de elevación (Goovaerts, 1997). El método de interpolación determinístico más comúnmente empleado es la ponderación en función inversa de la distancia o IDW (Inverse Distance Weighting) (Beck et al., 2010) (Paredes Hernández, Salinas Castillo, Becerra, & Jiménez Hernández, 2013).

#### **a. Superficies de mínima curvatura (Spline)**

Es un método determinístico en el cual, a partir de los valores conocidos de altura (Z), se puede ajustar una superficie Z utilizando métodos de regresión matemática, en los cuales prevalece el ajuste de los mínimos cuadrados, es decir aquel en el cual sus desviaciones o variaciones son las mínimas (Duque Martinez, 2015).

La limitación del método Spline o de mínima curvatura radica en que su influencia se extiende hacia toda el área en la cual subtienden los puntos conocidos, generando un efecto global en la estimación, que reduce así la confiabilidad de los resultados obtenidos. Sin embargo, actualmente los sistemas de interpolación permiten parametrizar el área de influencia de la estimación, reduciendo así la tendencia global del método y garantizando mejores resultados.

#### **b. Inversa Distancia**

Este método aplica como supuesto inicial que existirá mayor similitud en las alturas

de aquellos puntos que se encuentren cercanos entre sí, y que esta similitud disminuirá en tanto en cuanto la distancia aumente entre los diferentes puntos de altura conocida (Duque Martinez, 2015). La estimación del valor de (Z) para un punto de altura desconocida, se calcula a través de la determinación estadística de la media ponderada de las alturas de los puntos circundantes, cuyos pesos para la ponderación se obtienen a raíz del inverso de las distancias entre cada punto conocido en relación al punto desconocido.

## 2.4.2. Métodos Estocásticos

### a. Variable estacionaria

Una serie es estacionaria cuando su valor medio es estable. Por el contrario es no estacionaria cuando sistemáticamente crece o disminuye en el tiempo. La geoestadística es el nombre genérico de una familia de técnicas estadísticas relativas al análisis de datos espaciales. Sus orígenes se suelen situar a principios de la década de 1950, en el trabajo del Ingeniero de Minas sudafricano (Daniel G. Krige) (Muñoz, 2012). La geoestadística se define como el estudio de fenómenos regionalizados, es decir, que se extienden en el espacio y presentan una cierta continuidad (Emery, 2007).

Es importante resaltar que en geoestadística el propósito esencial es la interpolación y si no hay continuidad espacial pueden hacerse predicciones carentes de sentido (Giraldo, 2002).

La Geoestadística es la aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de procesos o fenómenos en el espacio. Una variable regionalizada es una función que representa la variabilidad espacial de una magnitud que se asocia a un fenómeno. Una definición más rigurosa matemáticamente equivalente consistiría en decir que una variable regionalizada es una variable aleatoria  $z$  definida en un punto del espacio  $\underline{x}$ , donde en el caso más general  $\underline{x}$  es un punto en el espacio tridimensional  $\underline{x} = (x_1, x_2, x_3)$  (Esparza Esquivel et al., 2016).

Una variable regionalizada se presenta bajo dos aspectos contradictorios (o complementarios)

- Un aspecto aleatorio (alta irregularidad, y variaciones imprevisibles de un punto a otro).
- Un aspecto estructurado (la V.R. debe sin embargo reflejar a su manera las características estructurales de un fenómeno regionalizado) (Matheron, 1969).

Un análisis geoestadístico está compuesto por tres etapas: el análisis exploratorio de los datos, el análisis estructural y las predicciones.

## **2.5. Análisis Exploratorio de Datos**

El Análisis Exploratorio de Datos (A.E.D.) es un conjunto de técnicas estadísticas, las que tienen como finalidad explicar de forma sencilla los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. Permite detectar fallos en el diseño y adquisición de datos, así como también la identificación de valores atípicos. Las herramientas más usadas en esta etapa son la estadística univariada, bivariada y regresiones (Rojas Suárez, 2011).

El examen previo de los datos es un paso necesario, que lleva tiempo, y que habitualmente se descuida por parte de los analistas de datos. “Las tareas implícitas en dicho examen pueden parecer insignificantes y sin consecuencias a primera vista, pero son una parte esencial de cualquier análisis estadístico” (León, 2014).

El análisis exploratorio de datos tiene tres objetivos:

- a. Analizar mediante herramientas estadísticas simples la cantidad, la calidad y la ubicación de los datos disponibles.
- b. Definir las zonas de estudio. Una división del campo en varias subzonas puede ser relevante si uno observa cambios abruptos en la distribución espacial de valores.
- c. Anticipar dificultades o problemas que puedan surgir en la fase de estimación local, por ejemplo, presencia de valores atípicos que se destacan de aquellos de los datos vecinos.



## **2.6. Análisis estructural**

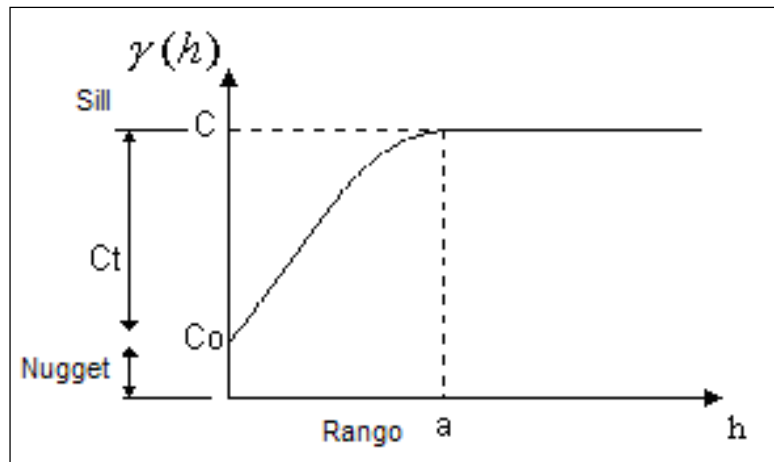
El análisis estructural es una de las etapas fundamentales de todo estudio geoestadístico. Tiene como objetivo la caracterización de la estructura espacial del fenómeno estudiado. Según Caers (2005) y Deutsch (2002) es el proceso de estimación y modelación de la función que describe la correlación espacial de las variables (Rojas Suárez, 2011). En el análisis estructural se estima y modela una función que refleje la correlación espacial de la variable regionalizada a partir de la adopción razonada de la hipótesis más adecuada acerca de su variabilidad (Rojas Suárez, 2011). Se entiende por estructura de una variable regionalizada el modo y medida en que esta varía en función de la distancia y las direcciones espaciales (Manteca Martínez, 1993). El análisis estructural implica especificar el tipo de hipótesis que se van a hacer sobre la variabilidad del fenómeno en estudio (Nicolas Funes, 2004).

Para cumplir el objetivo anterior se puede utilizar una o varias de las siguientes tres funciones: el semivariograma o variograma, la función de covarianzas y el correlograma, los cuales relacionan la información muestral y modelos teóricos de semivarianzas o semivariogramas (Méndez Venegas, 2008).

### **2.6.1. Variograma**

El variograma es la herramienta más importante de la geoestadística. Es una función estocástica y representa la modelización del comportamiento de la ley, con su grado de discrepancia entre los valores que toma en cada punto del espacio (Pérez Paredes, 2010).

El variograma permite analizar el comportamiento espacial que puede presentar una variable sobre una determinada zona, también permite detectar zonas de anisotropía, determinar la variabilidad espacial en función de la distancia, así como detectar el entorno de interpolación, este se ve limitado al ser un estadístico de dos puntos y también porque es muy sensible a valores extremos.



**Figura 3: Representación de un Variograma**

FUENTE: Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Goovaerts

#### Partes de un variograma

- a. Efecto pepita: Denominado Nugget en inglés, se denota por  $C_0$  y representa una discontinuidad puntual del variograma en el origen. Puede ser debido a errores de medición en la variable o a la escala de la misma (Fernandez Palomino, 2015).
- b. Alcance o Rango: Muestra la distancia donde la separación entre puntos indica una autocorrelación significativa. Indica la amplitud del radio de búsqueda de los vecinos locales (Fernandez Palomino, 2015).
- c. Meseta: Denominado Sill en inglés, máxima semivarianza hallada entre un par de puntos, que es encargada de encontrar la incertidumbre en el momento de la interpolación (Fernandez Palomino, 2015).

#### 2.6.2. Predicción

Es la estimación de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa, en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas u observadas. También se pueden realizar simulaciones, teniendo en cuenta los patrones de continuidad espacial elegidos (López, Valiente, Moral, & Pinilla, 2008).

##### a. Kriging

Este nombre apareció alrededor de 1960 para nombrar una técnica creada en Francia por Matheron a partir de los trabajos de D. G. Krige quién fue probablemente el

primero que hizo uso de la correlación espacial y del mejor estimador lineal insesgado en el campo de la evaluación de yacimientos minerales (Esparza Esquivel et al., 2016).

El kriging es una técnica de estimación local que ofrece el mejor estimador lineal insesgado de una característica desconocida que se estudia (Esparza Esquivel et al., 2016). El interés práctico más importante del krigeado, proviene, no del hecho que asegura la mejor precisión posible, sino más bien porque permite evitar un error sistemático (Segura, 2012).

El krigeado consiste en efectuar una ponderación, es decir atribuir un peso a la ley de cada muestra, estos pesos se calculan de manera de hacer mínima la varianza de estimación resultante, considerando las características geométricas del problema (Matheron, 1969).

Según Moral (2004) las principales características que hacen del krigeado un método de estimación muy superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia, la triangulación, etc., son los siguientes.

- Mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicarán a cada dato muestral, el krigeado considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras.
- Mediante el krigeado se minimiza la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado). Como el valor real en un punto no muestral es desconocido, el krigeado emplea un modelo conceptual con una función aleatoria asociada a los valores reales.
- Los métodos geoestadísticos muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pudiéndose estimar valores puntuales o en bloques, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal.

## b. Validación Cruzada

La validación cruzada es un método que permite evaluar la capacidad de predicción del ajuste de un modelo para la validación de una hipótesis, esta se justifica debido a que los métodos de interpolación son exactos, donde los valores de los pronósticos coinciden con los valores observados para los puntos muestreados, dando una idea de que tan buenos son los pronósticos y brindando información acerca de qué modelo provee la predicción más exacta.

La validación cruzada permite analizar la bondad del ajuste de un modelo de mejor manera que analizándolo solo los residuos, lo cual no permitiría valorar lo bien (o mal), que el modelo ajustado haría nuevas predicciones de casos no observados (Cabrero Ortega & García Pérez, 2015).

## 2.7. Medidas de Evaluación

Evalúa la semejanza que existe entre las series de tiempo de la información estimada, de la información observada, buscando encontrar el mejor modelo que presente el mínimo error.

### 2.7.1. Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)

El error Medio Cuadrático, se define como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las diferencias que hay entre el valor de la medida observada y la estimada, la ecuación 1 muestra la ecuación en mención.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P_{TRMM_i} - P_{SEAMHI_i})^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(P_{CHIRPS_i} - P_{SEAMHI_i})^2}{n}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$P_{TRMM}$  = Precipitación estimada por el TRMM

$P_{CHIRPS}$  = Precipitación estimada por el CHIRPS

$P_{SEAMHI}$  = Precipitación observada por el SENAMHI

$i$  = Mes de la serie continua (1998 – 2016)

$n$  = Número de datos usados en la comparación.

### 2.7.2. Coeficiente de correlación de Pearson

Es la división de la suma de los productos de las desviaciones de cada variante de X e Y, con respecto a sus medias, multiplicadas por la desviación estándar de cada variable.

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X * \sigma_Y} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$\sigma_{XY}$  = Covarianza de (X, Y)

$\sigma_X$  y  $\sigma_Y$  = Desviaciones típicas de las distribuciones marginales.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1, +1]:

- Si  $r = 0$ , no existe relación lineal.
- Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta.
- Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva.
- Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta.
- Si  $-1 < r < 0$ , existe una correlación negativa.

### 2.7.3. Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

Es un estadístico normalizado del error que determina la magnitud relativa del modelo simulado en relación a un modelo de referencia. Es la relación entre el error cuadrático medio de los valores simulados y la varianza en los datos observados, restado de la unidad. Sus valores adimensionales varían de menos infinito a uno (Ramos Fernández, 2013).

$$NSE = 1 - \frac{\sum(P_{sim,i} - P_i)^2}{\sum(P_i - \bar{P})^2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$P_{mest,i}$  = Precipitación estimada

$P_i$  = Precipitación observada

$\bar{Q}$  = Precipitación promedio

$i$  = Mes de la serie continua

Rango:

- Insuficiente < 0.2

- Satisfactorio 0.2 – 0.4
- Bueno 0.4 – 0.6
- Muy bueno 0.6 – 0.8
- Excelente > 0.8

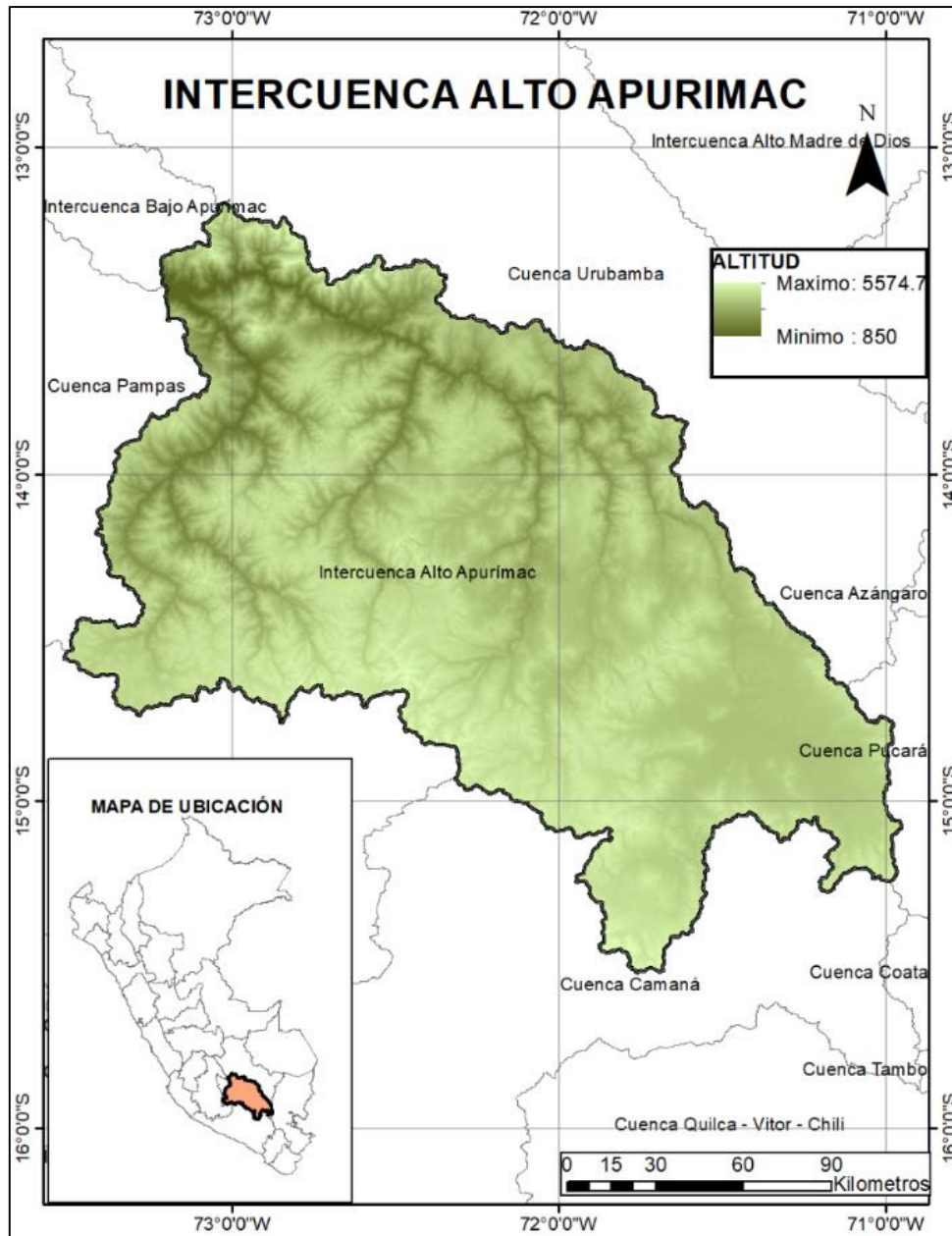
### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Materiales**

##### **3.1.1. Descripción de la zona de estudio**

El ámbito de estudio corresponde al área de la Intercuenca Alto Apurímac, ubicada entre las regiones de Cusco y Arequipa. Geográficamente la Intercuenca Alto Apurímac se encuentra entre las coordenadas  $70.95^{\circ}$  W –  $73.51^{\circ}$ W,  $13.17^{\circ}$  S –  $15.53^{\circ}$ S. La topografía se encuentra entre los 850 a 5574.7 m.s.n.m, debido a la existencia de la cadena montañosa de la Cordillera de los Andes.

La Intercuenca Alto Apurímac se encuentra entre las provincias de Abancay, Acomayo, Andahuaylas, Anta, Antabamba, Aymaraes, Canas, Castilla, Caylloma, Chumbivilcas, Condesuyos, Cotabambas, Cusco, Espinar, Grau, La Convención y Paruro de los departamentos de Apurímac, Cusco, Arequipa y Puno.



**Figura 4: Ubicación Intercuenca Alto Apurímac**

### 3.1.2. Información Meteorológica

Para la presente investigación se trabajó con información pluviométrica puntual y grillada, la primera fue obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y la segunda fue recopilada de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM) y el producto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS).

a. Precipitación observada

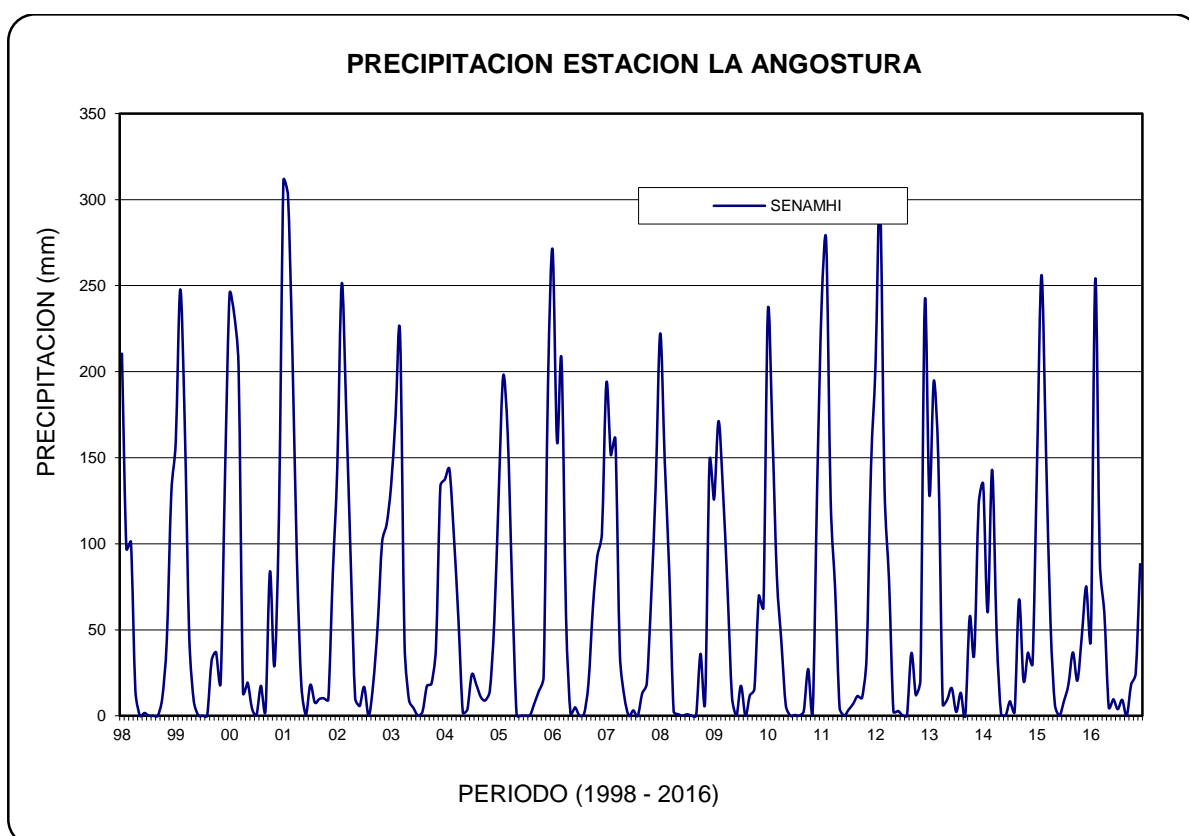
La información de precipitación observada fue obtenida de 26 estaciones



pluviométricas que son administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), de las cuales se obtuvo información pluviométrica a nivel mensual. Parte de la información que utilizada fue descargada de la web del SENAMHI, donde esta es distribuida libremente hasta el año 2013, lo faltante fue solicitado al SENAMHI. Debido a escasas de estaciones dentro de la cuenca se seleccionaron las estaciones pluviométricas más cercanas, siendo el criterio de selección las estaciones que contaban con un registro entre los años 1998 – 2016.

En la Figura 5 se muestra el histograma de la precipitación total mensual para la estación pluviométrica “La Angostura” en el periodo 1998 – 2016.

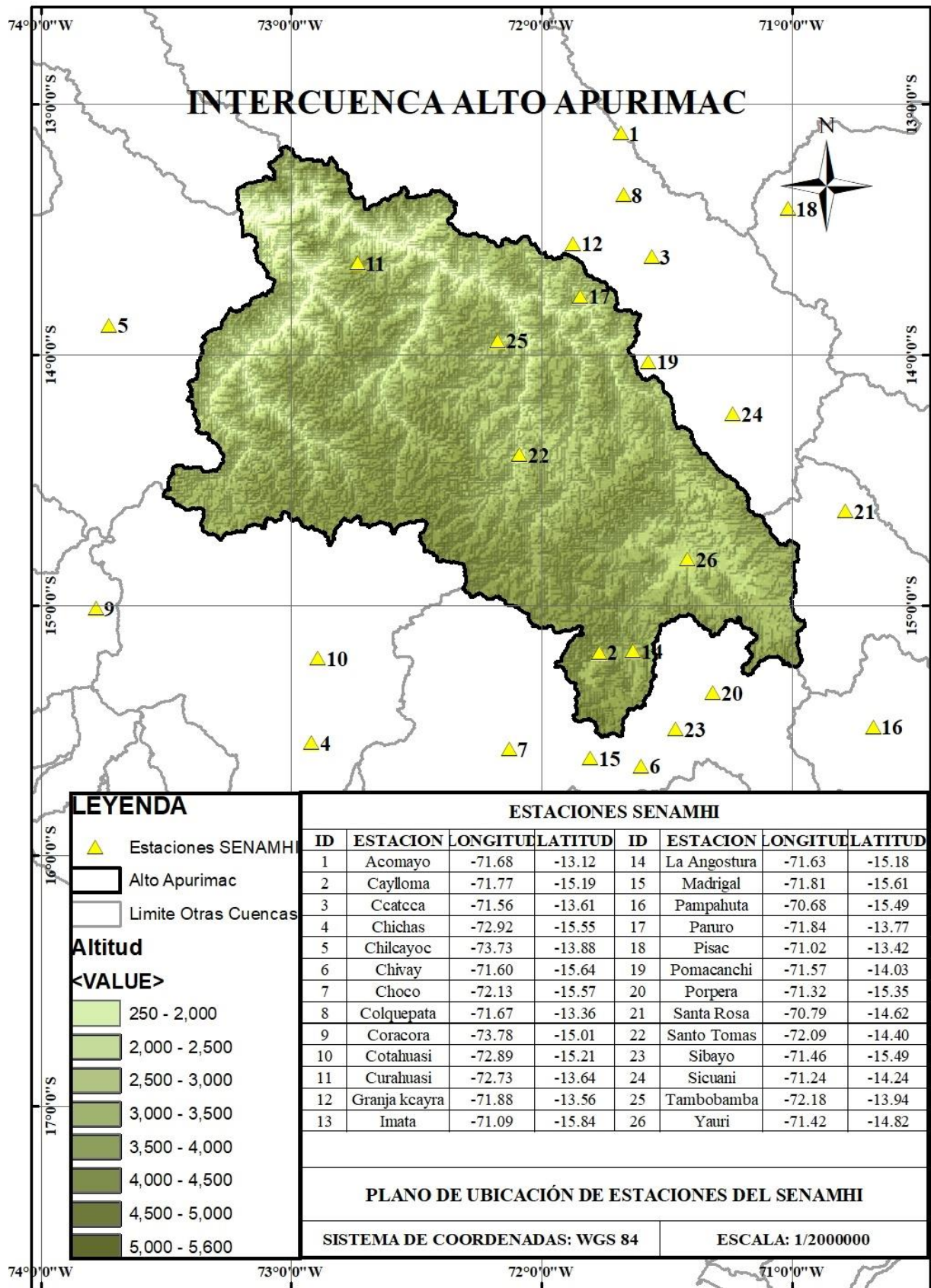
La Tabla 1 muestra las 26 estaciones pluviométricas con las que se desarrolló el estudio.



**Figura 5: Precipitación de la estación La Angostura**

**Tabla 1: Estaciones Pluviométricas del SENAMHI**

| N° | ESTACIÓN      | Tipo | Distrito             | Provincia     | Departamento | Coordenadas Geográficas |         | Altitud (m.s.n.m.) |
|----|---------------|------|----------------------|---------------|--------------|-------------------------|---------|--------------------|
|    |               |      |                      |               |              | Longitud                | Latitud |                    |
| 1  | Acomayo       | CO   | Acomayo              | Acomayo       | Cusco        | -71.68°                 | -13.92° | 3160               |
| 2  | Caylloma      |      | Caylloma             | Caylloma      | Arequipa     | -71.77°                 | -15.19° | 4327               |
| 3  | Ccatcca       | CO   | Ccatcca              | Quispicanchis | Cusco        | -71.56°                 | -13.61° | 3729               |
| 4  | Chichas       | CO   | Chichas              | Condesuyos    | Arequipa     | -72.92°                 | -15.55° | 2161               |
| 5  | Chilcayoc     | CO   | Chalcos              | Sucre         | Ayacucho     | -73.73°                 | -13.88° | 3410               |
| 6  | Chivay        | CO   | Chivay               | Caylloma      | Arequipa     | -71.60°                 | -15.64° | 3644               |
| 7  | Choco         | CO   | Choco                | Castilla      | Arequipa     | -72.13°                 | -15.57° | 2428               |
| 8  | Colquepata    | CO   | Colquepata           | Paucartambo   | Cusco        | -71.67°                 | -13.36° | 3729               |
| 9  | Coracora      | CO   | Coracora             | Parinacochas  | Ayacucho     | -73.78°                 | -15.01° | 3200               |
| 10 | Cotahuasi     | CO   | Toro                 | La Unión      | Arequipa     | -72.89°                 | -15.21° | 2678               |
| 11 | Curahuasi     | CO   | Curahuasi            | Abancay       | Apurímac     | -72.73°                 | -13.55° | 2763               |
| 12 | Granja kcayra | CO   | San Jerónimo         | Cusco         | Cusco        | -71.88°                 | -13.56° | 3219               |
| 13 | Imata         | CO   | San Antonio de Chuca | Caylloma      | Arequipa     | -71.09°                 | -15.84° | 4519               |
| 14 | La Angostura  | CO   | Caylloma             | Caylloma      | Arequipa     | -71.63°                 | -15.18° | 4265               |
| 15 | Madrigal      | CO   | Madrigal             | Caylloma      | Arequipa     | -71.81°                 | -15.61° | 3276               |
| 16 | Pampahuta     | CO   | Paritia              | Lampa         | Puno         | -70.68°                 | -15.49° | 4400               |
| 17 | Paruro        | CO   | Paruro               | Paruro        | Cusco        | -71.84°                 | -13.77° | 3084               |
| 18 | Pisac         | CO   | Pisac                | Calca         | Cusco        | -71.85°                 | -13.42° | 2950               |
| 19 | Pomacanchi    |      | Pomacanchi           | Acomayo       | Cusco        | -71.57°                 | -14.03° | 3200               |
| 20 | Porpera       |      | Tisco                | Caylloma      | Arequipa     | -71.32°                 | -15.35° | 4195               |
| 21 | Santa Rosa    | CO   | Santa Rosa           | Melgar        | Puno         | -70.79°                 | -14.62° | 3986               |
| 22 | Santo Tomas   | CO   | Llusco               | Chumbivilcas  | Cusco        | -72.09°                 | -14.40° | 3253               |
| 23 | Sibayo        | CO   | Sibayo               | Caylloma      | Arequipa     | -71.46°                 | -15.49° | 3806               |
| 24 | Sicuani       | CO   | Sicuani              | Canchis       | Cusco        | -71.24°                 | -14.24° | 3574               |
| 25 | Tambobamba    | CO   | Tambobamba           | Cotabambas    | Apurímac     | -72.18°                 | -13.94° | 3317               |
| 26 | Yauri         |      | Espinar              | Espinar       | Cusco        | -71.42°                 | -14.82° | 3927               |



**Figura 6:** Distribución espacial de estaciones pluviométricas del SENAMHI en la zona de estudio

### 3.1.3. Precipitación Estimada por Satélite

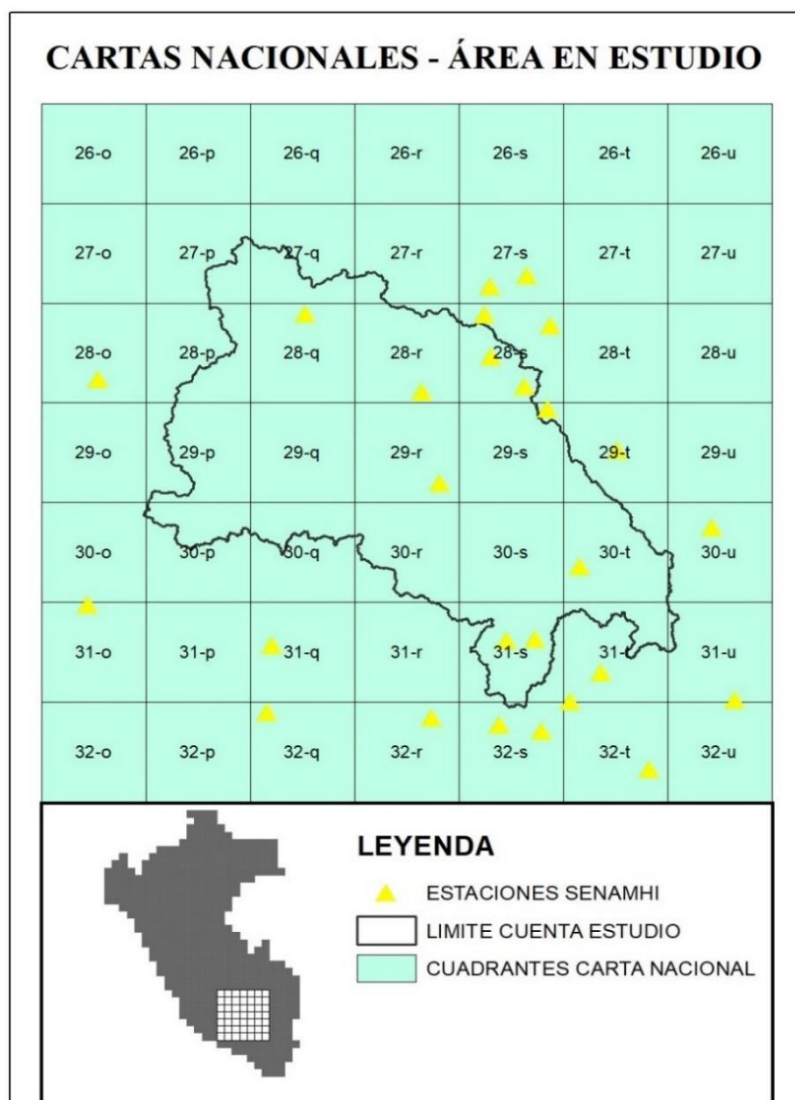
Para la presente investigación se utilizaron los productos TRMM y CHIRPS, para el periodo 1998 – 2016, los cuales brindan información de precipitación a nivel mensual. La información sensorial del producto TRMM fue obtenida del servidor Giovanni que es de distribución gratuita y se encuentra en el siguiente vínculo electrónico: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. De igual forma la información del producto CHIRPS se encuentra en forma gratuita y se descargó del siguiente vínculo electrónico: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>. La información utilizada de los productos TRMM y CHIRPS se encuentra entre las latitudes 16°S – 13°S y longitudes 74°W – 71°W.

### 3.1.4. Información cartográfica

Se utilizó información topográfica proveniente de 49 cartas nacionales en formato digital, las cuales son de libre acceso y son brindadas por el Ministerio de Educación del Perú (MINEDU). Estas se encuentran disponible en el siguiente vínculo electrónico: <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>. La información topográfica obtenida del servidor del MINEDU tiene un distanciamiento entre curva y curva de 50 metros, y son obtenidas en formato Shape (.shp).

**Tabla 2: Cartas nacionales sobre la Intercuencia Alto Apurímac**

| N° Carta | Nombre         | Zona | N° Carta | Nombre      | Zona | N° Carta | Nombre      | Zona |
|----------|----------------|------|----------|-------------|------|----------|-------------|------|
| 26-o     | San francisco  | 18L  | 28-r     | Tambobamba  | 18L  | 30-u     | Ayaviri     | 19L  |
| 26-p     | Chuanquiri     | 18L  | 28-s     | Cusco       | 19L  | 31-o     | Coracora    | 18L  |
| 26-q     | Quillabamba    | 18L  | 28-t     | Ocongate    | 19L  | 31-p     | Pausa       | 18L  |
| 26-r     | Quebrada honda | 18L  | 28-u     | Corani      | 19L  | 31-q     | Cotahuasi   | 18L  |
| 26-s     | Parobamba      | 19L  | 29-o     | Querobamba  | 18L  | 31-r     | Orcopampa   | 18L  |
| 26-t     | Pillcopata     | 19L  | 29-p     | Chalhuanca  | 18L  | 31-s     | Caylloma    | 19L  |
| 26-u     | Puerto luz     | 19L  | 29-q     | Antabamba   | 18L  | 31-t     | Condoroma   | 19L  |
| 27-o     | San miguel     | 18L  | 29-r     | Santo tomas | 18L  | 31-u     | Ocuviri     | 19L  |
| 27-p     | Pacaypata      | 18L  | 29-s     | Livitaca    | 19L  | 32-o     | Chaparra    | 18L  |
| 27-q     | Machupicchu    | 18L  | 29-t     | Sicuani     | 19L  | 32-p     | Caraveli    | 18L  |
| 27-r     | Urubamba       | 18L  | 29-u     | Ñuñoa       | 19L  | 32-q     | Chuquibamba | 18L  |
| 27-s     | Calca          | 19L  | 30-o     | Chaviña     | 18L  | 32-r     | Huambo      | 18L  |
| 27-t     | Chontachaca    | 19L  | 30-p     | Pacapausa   | 18L  | 32-s     | Chivay      | 19L  |
| 27-u     | Quincemil      | 19L  | 30-q     | Chulca      | 18L  | 32-t     | Callalli    | 19L  |
| 28-o     | Chincheros     | 18L  | 30-r     | Cayarani    | 18L  | 32-u     | Lagunillas  | 19L  |
| 28-p     | Andahuaylas    | 18L  | 30-s     | Velille     | 19L  |          |             |      |
| 28-q     | Abancay        | 18L  | 30-t     | Yauri       | 19L  |          |             |      |



**Figura 7: Distribución de cartas nacionales en la zona de estudio**

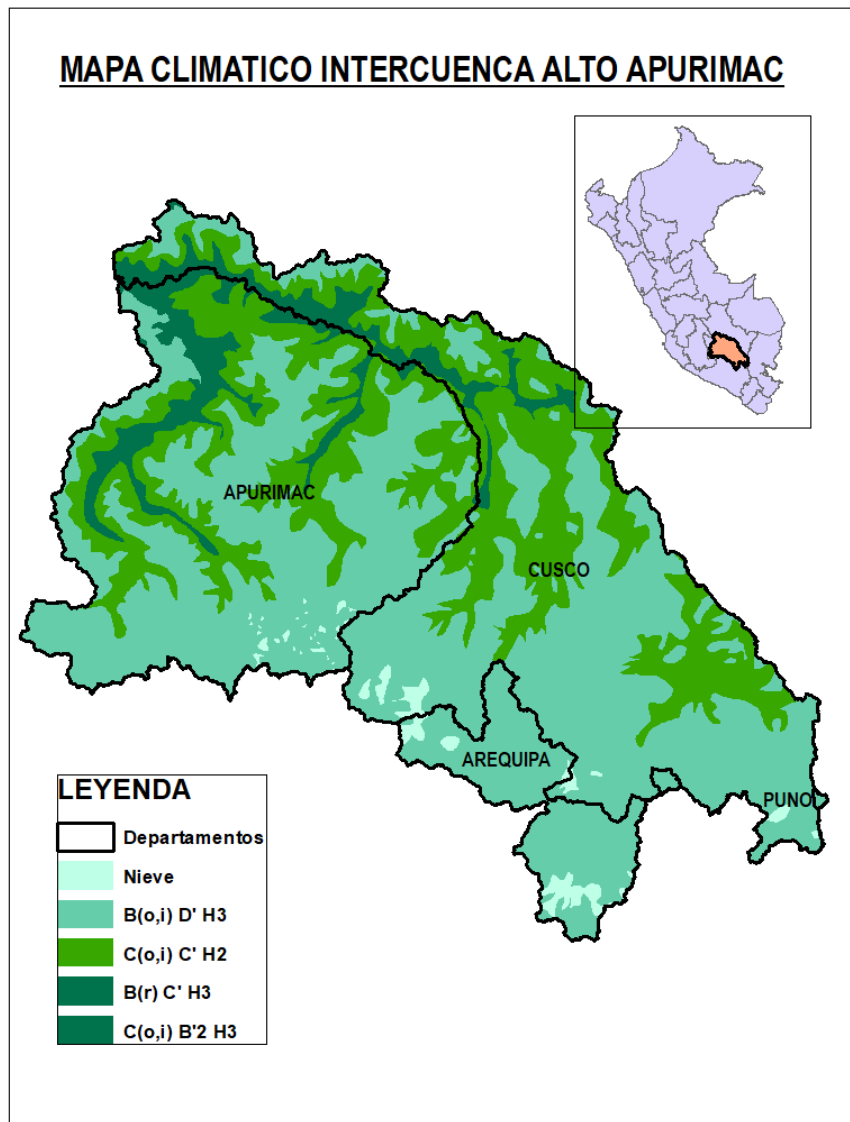
### 3.1.5. Zonificación Climática

Con el fin de realizar una zonificación por regiones climáticas, se utilizó el mapa climático del Perú, el cual abarca dentro de la cuenca cuatro zonas climáticas.

Regiones climáticas dentro de la Intercuenca Alto Apurímac

- a. B(o,i) D' H3: Clima lluvioso con carácter semifrigido y ausencia de lluvias en el invierno y otoño, con atmosfera de seca a húmeda.
- b. C(o,i) D' H2: Clima semiseco con carácter semifrigido, ausencia de lluvias en el invierno y otoño, con atmosfera de muy seca a seca.
- c. B(r) C' H3: Clima lluvioso con carácter frio, abundante lluvia durante todo el año, con atmosfera de seca a húmeda.

- d. C(o,i) B'2 H3: Clima semiseco con carácter templado, ausencia de lluvias en el invierno y otoño, con atmosfera de seca a húmeda.



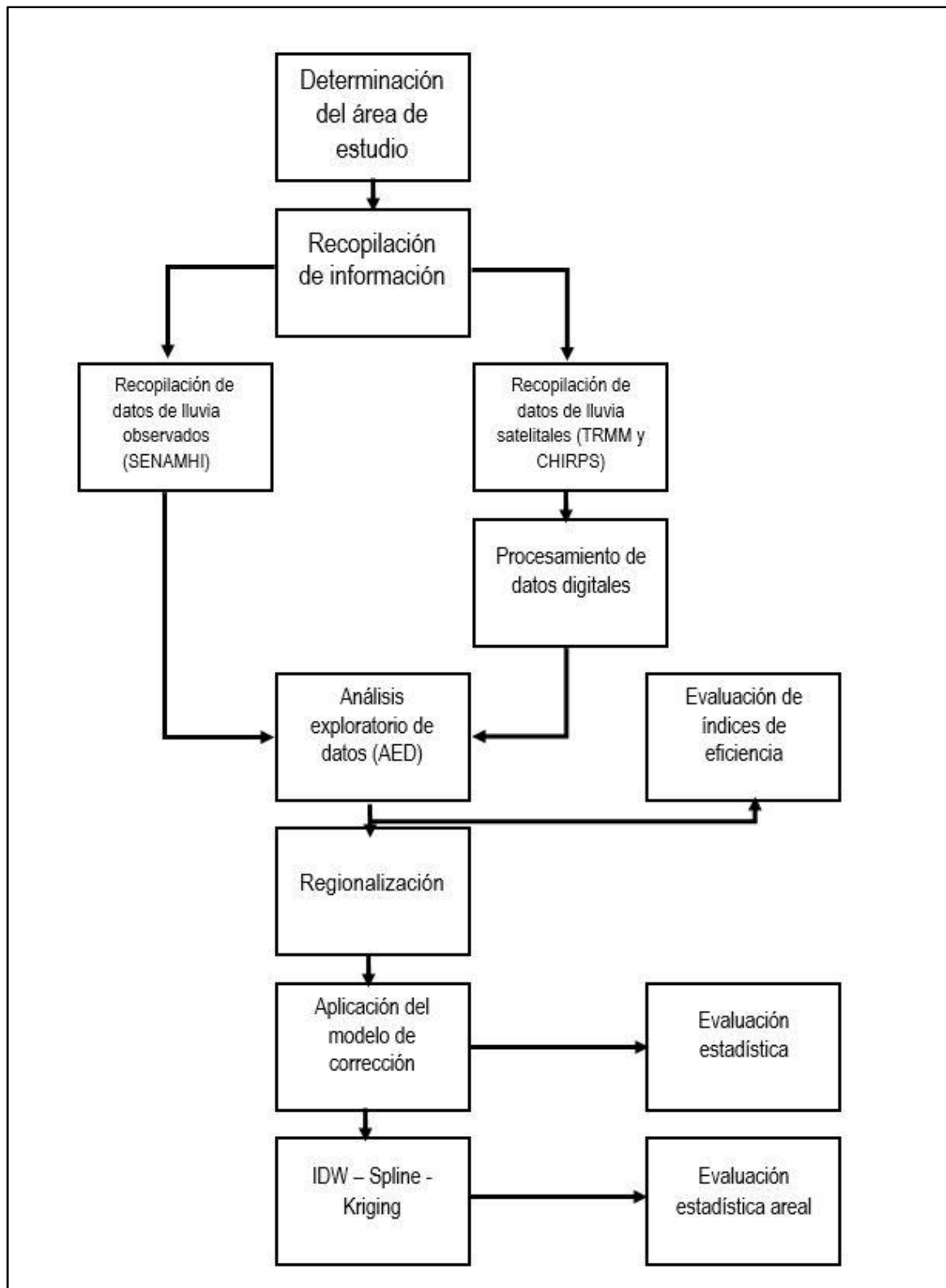
**Figura 8: Mapa Climático del Perú – Intercuenca Alto Apurímac**

### 3.1.6. Equipos y programas de cómputo

- Computador con procesador Intel Core i5, memoria RAM de 6Gb y disco duro de 1Tb
- ArcGis 10.1
- Microsoft Excel 2013
- Microsoft Word 2013
- Hydraccess

### 3.2. Metodología

La Figura 9, describe la metodología usada para el desarrollo de la investigación.



**Figura 9: Metodología seguida para la presente investigación**

### **3.3. Análisis exploratorio de datos (AED)**

El AED consiste en el análisis de los datos empleando una variedad de técnicas (en su mayoría gráficas) para incrementar nuestro entendimiento sobre ellos y visualizar las relaciones existentes entre las variables analizadas. El AED proporciona métodos gráficos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallas en el diseño y muestreo para recolectar los datos, tratamiento y evaluación de datos ausentes, identificación de valores atípicos y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas así como analizar la cantidad, calidad y la ubicación de los datos disponibles mediante gráficos y estadísticos (SENAMHI, 2016).

En su desarrollo plantea tres objetivos:

- Analizar mediante herramientas estadísticas simples la cantidad y la calidad de los datos disponibles.
- Definir las zonas de estudio. Una división del campo en varias subzonas puede ser relevante si uno observa cambios abruptos en la distribución espacial de valores.
- Anticipar dificultades o problemas que puedan surgir en la fase de estimación local, por ejemplo, presencia de valores atípicos que se destacan de aquellos de los datos vecinos.

#### **3.3.1. Histograma**

Un histograma es un resumen gráfico de la variación de un conjunto de datos. La naturaleza gráfica del histograma nos permite ver pautas que son difíciles de observar en una simple tabla numérica. Esta herramienta se utiliza especialmente en la Comprobación de teorías y Pruebas de validez.

#### **3.3.2. Validación de la fuente de información**

El objetivo principal del presente trabajo es validar las dos fuentes precipitación estimada, por lo cual se realizó un criterio de corrección aplicando un modelo multiplicativo. Según Rau (2009), que analizo el comportamiento de la precipitación en las principales zonas de montaña del Perú, aplicando un modelo multiplicativo y aditivo, no recomienda la aplicación de modelos sobre la región Apurímac, dado que la confiabilidad necesaria solo se logra en algunos meses. Se tuvo en cuenta esta recomendación, pero dado que el modelo fue aceptable en algunos meses, se decidió emplearlo en la fase de corrección.



### 3.4. Modelo Multiplicativo

A fin de obtener una corrección de los registros de los productos TRMM y CHIRPS, se busca un patrón común de los productos TRMM y CHIRPS en función del SENAMHI, mediante la aplicación de un modelo de corrección.

Las siguientes ecuaciones muestran el desarrollo del modelo propuesto para la corrección de la información, siendo el producto final, una precipitación corregida para los productos TRMM y CHIRPS, donde finalmente estos serán evaluados mediante índices de correlación.

$$\frac{\mu_{\log(\alpha_{i+1})}}{\mu_{\log(\text{SENAMHI}_{i+1})}} = F_{1i} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\mu_{\log_c(\alpha_{i_c} + 1)} = F_{1i} * \mu_{\log(\alpha_{i+1})} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$F_{1i} = \frac{\mu_{\log_c(\alpha_{i_c} + 1)}}{\mu_{\log(\alpha_{i+1})}} = \frac{\frac{\sum \mu_{\log_c(\alpha_{i_c} + 1)}}{n}}{\frac{\sum \mu_{\log(\alpha_{i+1})}}{n}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$(\log(\alpha_{i_c} + 1))_j = \log(\alpha_i + 1) * F_{1i} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\alpha_{i_{c_j}} = \frac{1}{F_{1i}} \sqrt{\alpha_{ij} + 1} - 1 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

El vector  $F_1$  = Vector mensual como patrón común

$\mu_{\log(\text{SENAMHI}_{i+1})}$  = Media del registro de SENAMHI transformado para el mes  $i$

$\mu_{\log(\alpha_{i+1})}$  = Media del registro del producto transformador para el mes  $i$

$\alpha$  = Producto precipitación estimada (TRMM, CHIRPS)

$i$  = Mes de la serie histórica (1, 2, ...,12)

$i_c$  = Mes de la serie histórica corregida (1, 2, ...,12)

$j$  = Año de la serie histórica (1998, 1999, ..., 2016)

### 3.5. Evaluación estadística

Para la evaluación estadística de la precipitación estimada en referencia a la observada se utilizaron dos grupos de estadísticos. En el primer grupo se utilizó estadísticas de comparación por pares, esto con el fin de evaluar el desempeño de los productos satelitales en comparación con la información observada, tales como:

- Raíz del error cuadrático medio (RMSE)
- El coeficiente de correlación de Pearson (PPMCC)
- Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

El segundo grupo analizado se basa en el análisis de una tabla de contingencia, en donde se busca comparar las observaciones puntuales y las estimadas, en la Tabla 3, las letras A, B, C y D representan el número de aciertos, falsas alarmas, pérdidas y de no eventos.

**Tabla 3: Comparación de mediciones de pluviómetros y estimaciones por satélite**

|                           | Observado $\geq$ Estimado | Observado $<$ Estimado |
|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| Estimado $\geq$ Observado | A (Acierto)               | B (Falsa Alarma)       |
| Estimado $<$ Observado    | C (Pérdida)               | D (No evento)          |

Evento Positivo Verdadero (A), se define como el evento donde existe un valor para la precipitación observada y precipitación estimada

- Pp Estimado  $>$  0 y Pp Observado  $>$  0

Evento positivo falso (B), se define como el evento donde el valor de la precipitación observada es igual a cero y la precipitación estimada presenta un valor mayor a cero.

- Pp Estimado  $>$  0 y Pp Observado = 0

Evento negativo falso (C), se define como el evento donde la precipitación observada es mayor a cero y la precipitación estimada es igual a cero.

- Pp Estimado = 0 y Pp Observado  $>$  0

Evento negativo verdadero (D), se define como el evento donde la precipitación observada

y estimada son igual a cero.

- Pp Estimado = 0 y Pp Observado = 0

La Tabla 4 presenta los estadísticos de validación categórica.

**Tabla 4: Estadísticos de validación categórica**

| Nombre                          | Siglas | Formula                     | Rango        | Óptimo |
|---------------------------------|--------|-----------------------------|--------------|--------|
| Probabilidad de detección       | POD    | $A / (A + C)$               | 0 - 1        | 1      |
| Ratio de falsas alarmas         | FAR    | $B / (A + B)$               | 0 - 1        | 0      |
| Índice de éxito crítico         | CSI    | $A / (A + B + C)$           | 0 - 1        | 1      |
| % de estimaciones correctas     | PC     | $(A + D) / (A + B + C + D)$ | 0 - 1        | 1      |
| Índice de frecuencias del sesgo | FBIAS  | $(A + B) / (A + C)$         | 0 - $\infty$ | 1      |

### 3.6. Método del Vector Regional

Para la aplicación del MVR se aplicó el método de Brunet-Moret a las series temporales de precipitación observada. Esta metodología permite utilizar registros de precipitación incompletos y, por tanto, no se ha realizado una completación de datos (León, 2014)(León, 2014). La idea básica del MVR, es la siguiente: en lugar de comparar dos por dos estaciones por correlación o doble masa, como se hace en los métodos clásicos, se elabora una estación ficticia que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones (Espinoza, 2005).

Para la aplicación del MVR se consideraron las 26 estaciones pluviométricas, la Tabla 5, muestra la continuidad temporal del registro de datos, para la facilidad de cálculos se empleó el paquete computacional HYDRACCESS.

Inicialmente se crea una matriz (A), la cual contiene un conjunto de datos de la precipitación total anual de la zona en estudio, donde las columnas (N) y filas (M) contienen datos de las estaciones y años respectivamente, creando una matriz de dimensiones NxM. La matriz (A) creada inicialmente es el producto de la suma de la matriz (B) y (E), las cuales representan la información teórica buscada y las perturbaciones aleatorias respectivamente.

Una zona climática puede estar representada por un único vector cuya esperanza matemática es igual a 1. Por lo que matemáticamente la matriz A (B+E) vendría a ser representada mediante la siguiente fórmula

$$\frac{P_{ij}}{P_{mj}} = Z_i + E_{ij} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

- $P_{ij}$  = Precipitación total anual de la estación j para el año i
- $P_{mj}$  = Precipitación media extendida de la precipitación total anual de la estación j
- $Z_i$  = Índice pluviométrico regional para el año i
- $E_{ij}$  = Fluctuación aleatoria del año i de la estación j

Dado que existen datos faltantes se aplica el método de mínimos cuadrados, con el fin de determinar todos los valores de  $P_{mj}$  y  $Z_i$ , donde la ecuación 11 muestra la fórmula matemática para el cálculo.

$$\sum_i^N = \sum_{j=1}^M \left( \frac{P_{ij}}{P_{mj}} - Z_i \right)^2 \quad (\text{Ecuación 11})$$

La ecuación 12 se da producto de la derivada de la ecuación anterior entre  $Z_i$ , esto en el caso de que en el año i se tengan p estaciones con suficiente información,

$$Z_i = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^P \left( \frac{P_{ij}}{P_{mj}} \right) \quad (\text{Ecuación 12})$$

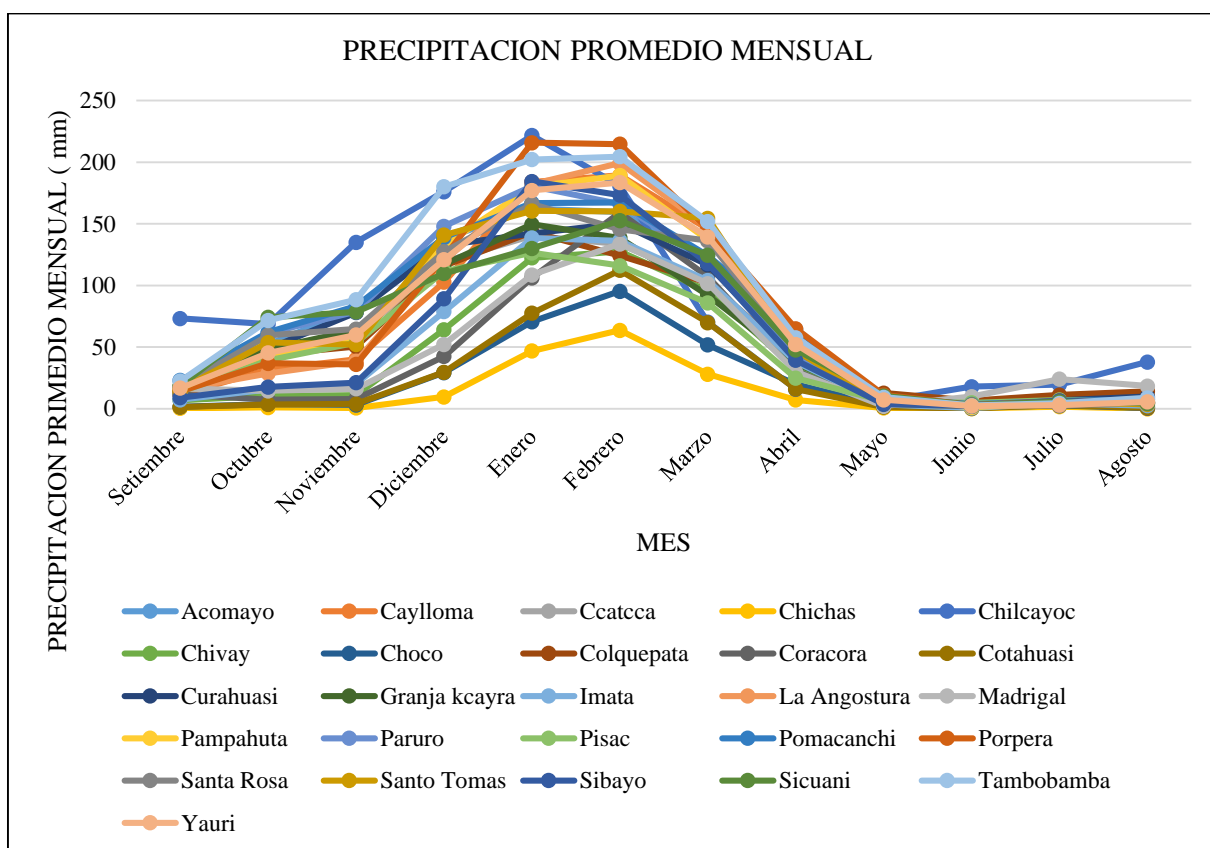
Al reemplazar el valor de  $Z_i$  en la Ecuación 3.8 y derivando por  $1/P_{mj}$ , se obtienen ecuaciones con  $M$  incógnitas. De la solución de este sistema de ecuaciones, se obtiene el índice pluviométrico regional por año, cuyo conjunto de datos son conocidos como el vector regional. De igual manera, para cada estación se obtendrá un índice anual pluviométrico que corresponderá a la serie de valores de  $P_{ij}/P_{mj}$  (León, 2014).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis exploratorio de datos

#### 4.1.1. Análisis de la información de precipitación

El análisis exploratorio de datos es el primer paso en el desarrollo del análisis de la información, los resultados del procesamiento de la información observada corresponden a la precipitación total acumulada mensual, la cual fue recopilada de 26 estaciones pluviométricas administradas por el SENAMHI. Este se realizó con la finalidad de caracterizar y describir el comportamiento de la variable en estudio, siendo esta la base para un futuro análisis comparativo entre la precipitación observada y estimada.

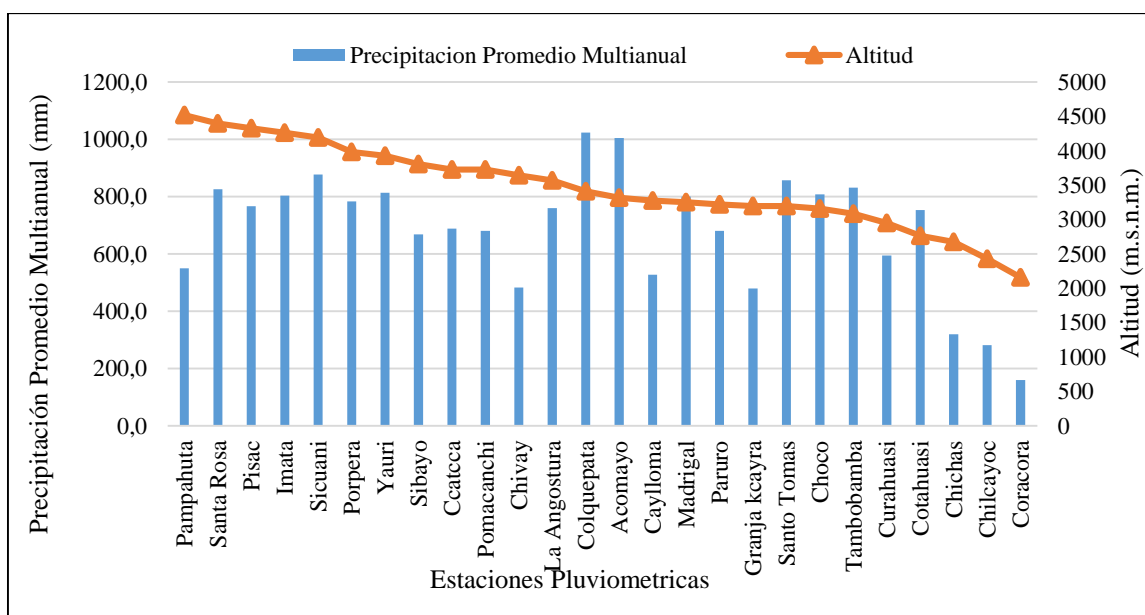


**Figura 10: Histograma de precipitación promedio mensual para 26 estaciones del SENAMHI**

En la Figura 10, se muestra el comportamiento de la precipitación promedio mensual en las 26 estaciones en estudio. Se aprecia un comportamiento similar en 25 de las estaciones durante el año, esto producto a la estacionalidad, en donde la precipitación promedio mensual alcanza valores alrededor de los 200 mm/mes en los meses húmedos (Diciembre – Febrero), asimismo se observa que en los meses secos (Mayo – Agosto), la precipitación media mensual alcanza valores desde los 0 mm/mes.

La estación Chilcayoc ubicada a 3410 msnm a diferencia de las demás presenta un crecimiento gradual significativo de la precipitación total mensual a partir del mes de mayo hasta setiembre, donde presenta un pequeño descenso para luego continuar aumentando hasta el mes de enero, para luego continuar con la tendencia de las otras 25 estaciones.

La Figura 11 muestra el ordenamiento descendente de la altitud en las estaciones respecto a la precipitación promedio multianual, donde observa que las estaciones no muestran relación alguna, por lo se concluye que no hay una dependencia entre la altitud y la precipitación total multianual, esto como consecuencia de la orografía irregular que se presenta en la zona.

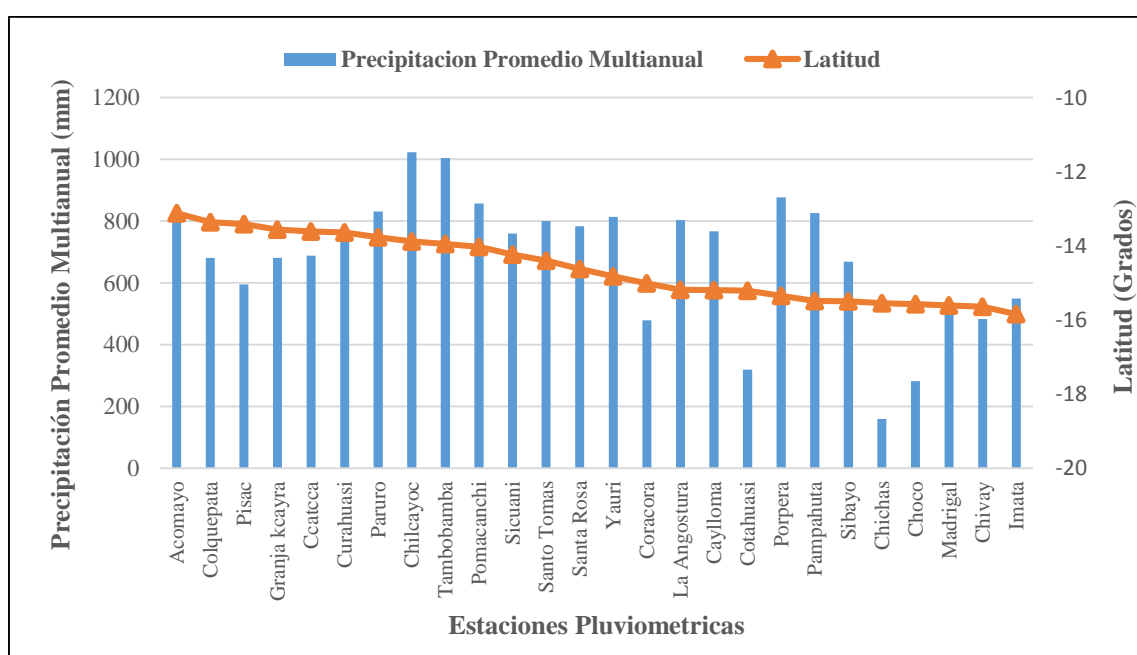


**Figura 11: Tendencia de la precipitación promedio anual respecto a la altitud**

A fin de conocer el comportamiento de la precipitación cerca a la vertiente del Pacífico y la línea ecuatorial, se consideró evaluar la variabilidad de la precipitación respecto a su

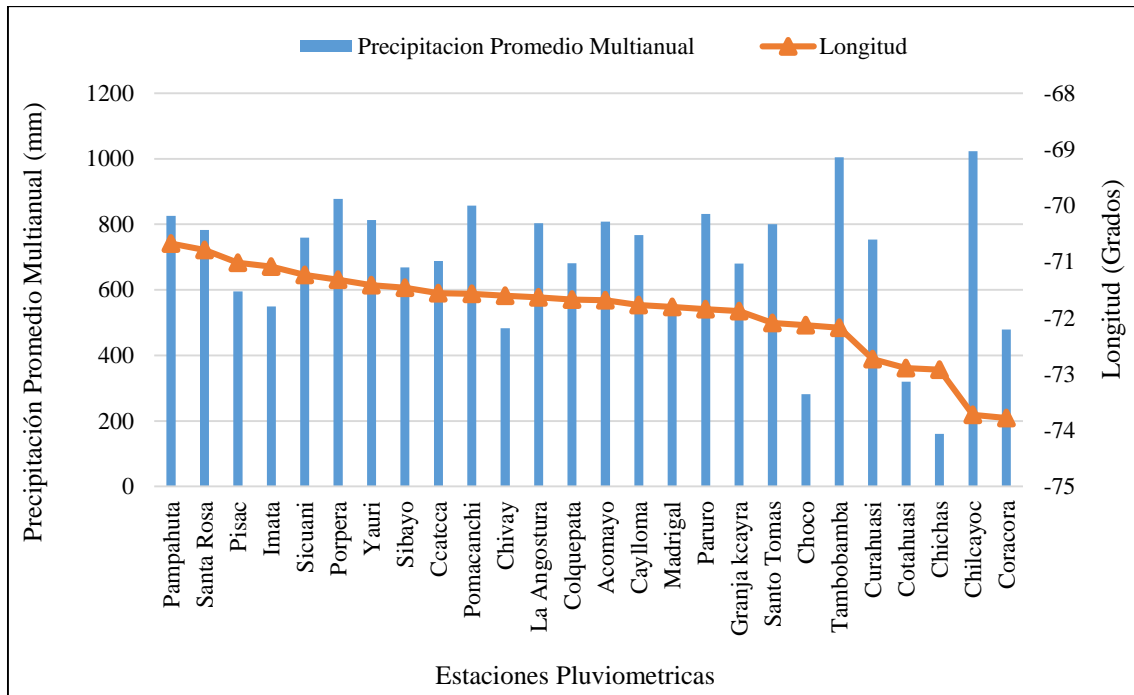
ubicación geográfica, la Figura 12 y 13 presentan el comportamiento de la precipitación promedio multianual respecto a la latitud y longitud respectivamente.

Respecto a la latitud en la Figura 12, las estaciones se encuentran entre las latitudes  $-13^{\circ}$  a  $-16^{\circ}$ , las cuales se encuentran distribuidas proporcionalmente respecto a la latitud  $-15^{\circ}$ , además se observa que los menores valores de precipitación total multianual se encuentran en las estaciones Chicas, Chilcayoc y Cotahuasi, encontrándose estas últimas en la parte el sur de la cuenca y cercanas a la vertiente del pacifico.



**Figura 12: Tendencia de la precipitación promedio anual respecto a la latitud**

La Figura 12 se muestra el comportamiento de la precipitación respecto a la longitud, donde se aprecia que la precipitación promedio multianual entre la latitud  $-70^{\circ}$  a  $-72^{\circ}$  se encuentra entre 600 a 800 mm en promedio, para luego presentar un comportamiento irregular entre las longitudes  $-72^{\circ}$  a  $-74^{\circ}$ , donde los menores y mayores valores de la precipitación se encuentran cerca a la vertiente del pacifico.



**Figura 13: Tendencia de la precipitación promedio anual respecto a la longitud**

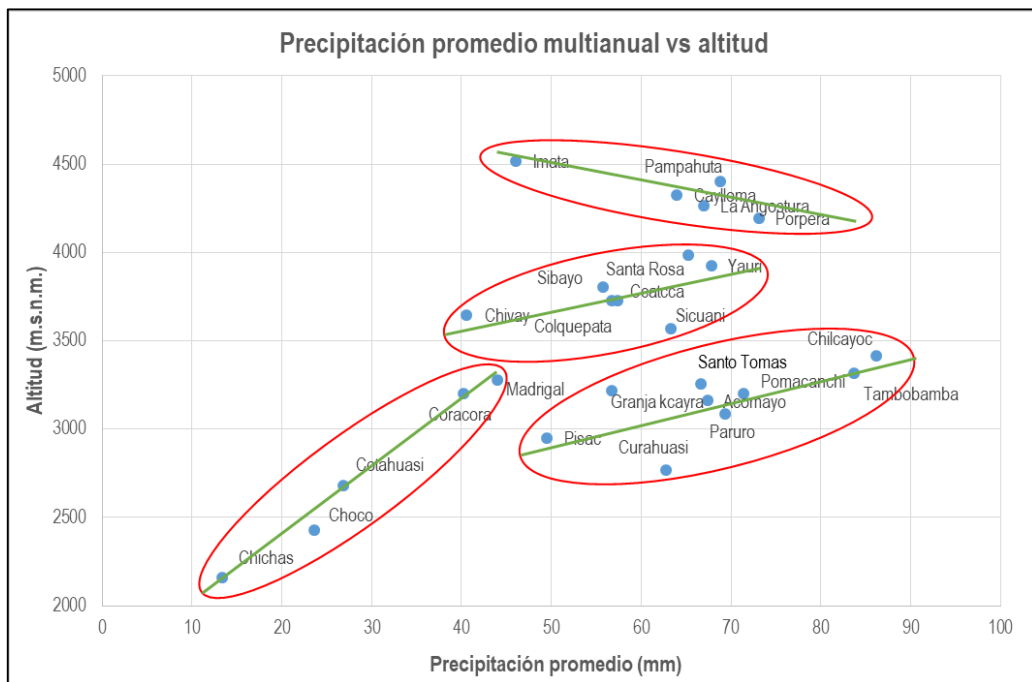


**Tabla 5: Información disponible de las 26 estaciones del SENAMHI**

| ESTACIÓN      | PERIODO             | ENE<br>(mm) | FEB<br>(mm) | MAR<br>(mm) | ABR<br>(mm) | MAY<br>(mm) | JUN<br>(mm) | JUL<br>(mm) | AGO<br>(mm) | SEP<br>(mm) | OCT<br>(mm) | NOV<br>(mm) | DIC<br>(mm) | ALTITUD<br>(msnm) |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| ACOMAYO       | 1998-2009/2012-2016 | 86.1        | 84.7        | 76.4        | 68.9        | 69.0        | 53.2        | 66.2        | 40.7        | 57.0        | 64.5        | 64.0        | 86.9        | 3160              |
| CAYLLOMA      | 1998 - 2009         | 184.1       | 189.4       | 145.9       | 44.3        | 5.3         | 2.6         | 5.4         | 4.1         | 11.4        | 31.9        | 40.1        | 102.8       | 4327              |
| CCATCCA       | 1998 - 2016         | 140.4       | 133.5       | 103.5       | 39.8        | 7.9         | 5.2         | 9.3         | 8.7         | 15.0        | 46.4        | 59.2        | 119.4       | 3729              |
| CHICHAS       | 1998 - 2013         | 46.9        | 63.7        | 28.1        | 7.2         | 0.6         | 0.2         | 1.7         | 0.0         | 0.4         | 1.1         | 0.6         | 9.6         | 2161              |
| CHILCAYOC     | 1998 - 2013         | 221.7       | 180.9       | 70.2        | 15.9        | 6.2         | 17.9        | 19.6        | 37.9        | 73.3        | 68.8        | 135.1       | 176.1       | 3410              |
| CHIVAY        | 1998 - 2013         | 122.4       | 127.7       | 95.7        | 32.6        | 4.2         | 1.6         | 4.2         | 2.1         | 6.9         | 10.4        | 10.9        | 64.2        | 3644              |
| CHOCO         | 1998 - 2013         | 70.7        | 95.3        | 51.9        | 19.9        | 1.8         | 0.8         | 2.6         | 0.6         | 1.6         | 3.7         | 3.2         | 29.3        | 2428              |
| COLQUEPATA    | 1998 - 2016         | 143.5       | 124.3       | 102.1       | 40.6        | 12.7        | 6.5         | 11.2        | 14.1        | 15.7        | 43.7        | 50.5        | 116.0       | 3729              |
| CORACORA      | 1998 - 2013         | 106.3       | 159.0       | 107.2       | 30.6        | 2.0         | 0.6         | 3.9         | 0.5         | 11.6        | 7.3         | 7.9         | 42.4        | 3200              |
| COTAHUASI     | 1998 - 2013         | 77.6        | 112.4       | 69.9        | 16.0        | 1.4         | 0.3         | 2.8         | 0.9         | 1.4         | 3.5         | 3.9         | 29.6        | 2678              |
| CURAHUASI     | 1998 - 2016         | 142.1       | 150.6       | 116.8       | 43.3        | 7.0         | 3.0         | 6.7         | 9.8         | 15.0        | 48.6        | 78.1        | 132.7       | 2763              |
| GRANJA KCAYRA | 1998 - 2016         | 149.7       | 138.6       | 92.1        | 37.0        | 5.7         | 3.3         | 5.5         | 5.1         | 13.9        | 48.5        | 64.0        | 117.3       | 3219              |
| IMATA         | 1998 - 2015         | 138.6       | 136.2       | 104.1       | 38.0        | 3.4         | 0.7         | 4.5         | 2.4         | 7.3         | 15.6        | 20.0        | 78.8        | 4519              |
| LA ANGOSTURA  | 1998 - 2016         | 182.1       | 199.3       | 147.7       | 50.9        | 6.6         | 2.8         | 5.7         | 5.1         | 15.7        | 28.7        | 38.6        | 120.1       | 4265              |
| MADRIGAL      | 1998 - 2015         | 108.6       | 133.8       | 101.5       | 29.9        | 2.1         | 9.9         | 24.1        | 18.5        | 16.4        | 14.6        | 16.3        | 52.2        | 3276              |
| PAMPAHUTA     | 1998 - 2013         | 180.1       | 189.3       | 137.1       | 57.2        | 7.1         | 1.3         | 3.9         | 4.6         | 14.1        | 42.6        | 56.6        | 132.5       | 4400              |
| PARURO        | 1998 - 2014 / 2016  | 180.5       | 166.2       | 120.5       | 40.9        | 5.8         | 3.5         | 4.2         | 5.0         | 17.1        | 61.3        | 78.8        | 148.1       | 3084              |
| PISAC         | 1998 - 2016         | 126.5       | 116.1       | 85.9        | 24.8        | 6.4         | 4.8         | 7.2         | 5.5         | 13.6        | 39.4        | 53.5        | 111.6       | 2950              |
| POMACANCHI    | 1998 - 2016         | 166.9       | 167.4       | 124.3       | 64.5        | 9.2         | 3.6         | 6.3         | 7.6         | 23.0        | 62.1        | 83.2        | 139.0       | 3200              |
| PORPERA       | 1998 - 2013         | 215.8       | 214.6       | 146.2       | 64.9        | 11.2        | 3.0         | 6.4         | 5.3         | 14.2        | 36.9        | 36.1        | 122.8       | 4195              |
| SANTA ROSA    | 1998 - 2013         | 166.1       | 145.6       | 136.4       | 46.6        | 7.8         | 3.0         | 2.6         | 5.1         | 18.2        | 59.7        | 64.7        | 127.5       | 3986              |
| SANTO TOMAS   | 1999 - 2009         | 160.6       | 160.2       | 154.6       | 47.2        | 4.0         | 2.2         | 6.0         | 3.5         | 15.6        | 53.8        | 52.1        | 140.9       | 3253              |
| SIBAYO        | 1998 - 2013         | 184.5       | 173.4       | 117.8       | 39.4        | 3.6         | 2.1         | 6.5         | 4.5         | 9.0         | 17.7        | 21.1        | 89.2        | 3806              |
| SICUANI       | 1998 - 2009         | 130.2       | 152.7       | 124.6       | 47.9        | 10.4        | 2.9         | 5.7         | 4.5         | 18.6        | 74.2        | 78.5        | 109.8       | 3568              |
| TAMBOBAMBA    | 1998 - 2016         | 202.3       | 204.6       | 151.8       | 57.6        | 9.3         | 2.6         | 4.5         | 8.9         | 22.5        | 71.7        | 88.5        | 180.1       | 3317              |
| YAURI         | 1998 - 2009         | 177.1       | 183.6       | 139.6       | 52.3        | 7.3         | 2.3         | 3.0         | 5.6         | 16.8        | 45.4        | 59.9        | 120.9       | 3927              |

## 4.2. Regionalización

Se consideraron dos criterios para la regionalización, el primero consistió en agrupar las estaciones en base al comportamiento de la precipitación promedio multianual respecto de la altitud, encontrándose cuatro zonas con un régimen de precipitación de similar, la cual que se validó con la aplicación del Método del Vector Regional, en la que se tuvieron que descartar las estaciones Chilcayoc y Chivay debido a la baja correlación existente. En la Tabla 6 se muestra los valores obtenidos para la D.E.D y la Correlación / Vector.



**Figura 14: Regionalización mediante precipitación promedio anual vs altitud**

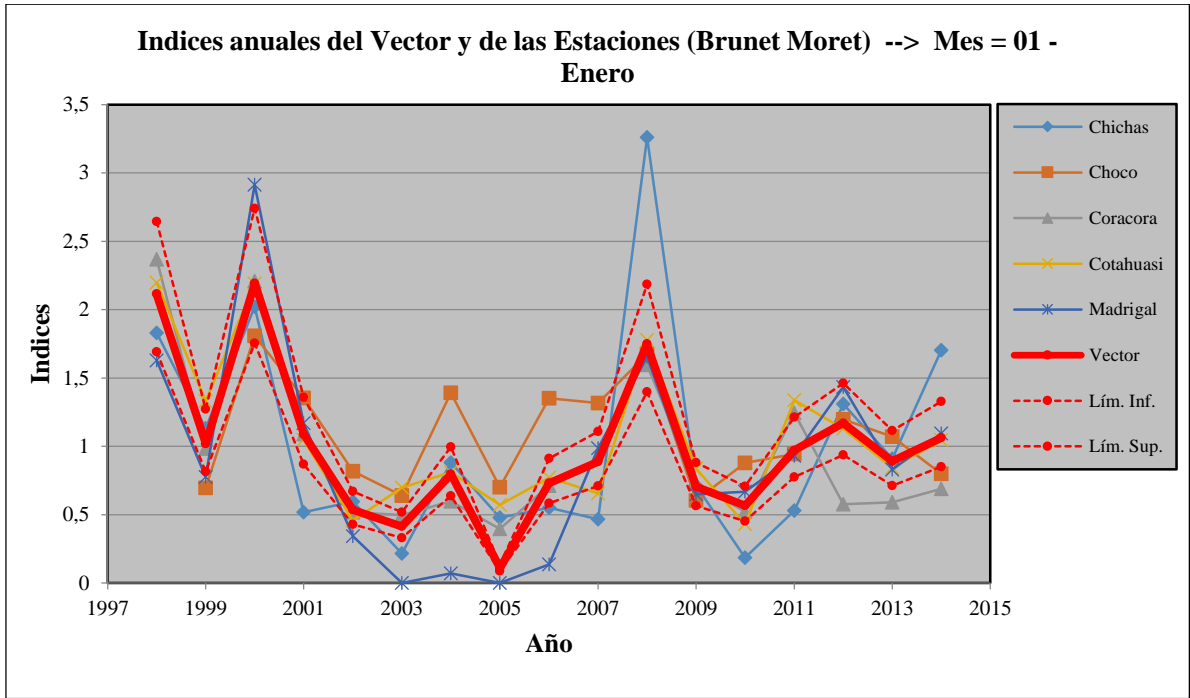
La mayor parte de estaciones de la Zona 1 presentan valores de la D.E.D. por debajo de 0.35, excepto por la estación Chichas, en donde esta alcanza un valor de 0.48, asimismo se observa que los valores de la correlación con el vector son mayores a 0.75, en la Zona 2 la estación Chilcayoc alcanza una D.E.D. de 0.43 y una correlación con el vector de 0.06, lo que hace que se descarte dicha estación, en la Zona 3 la estación Chivay presenta la mayor D.E.D y una correlación de 0.40, por lo que se descartaría.

La zona 4 presenta valores de la D.E.D. menores a 0.25 y una correlación por encima de 0.75, por lo que no se descartaría ninguna estación en la zona.

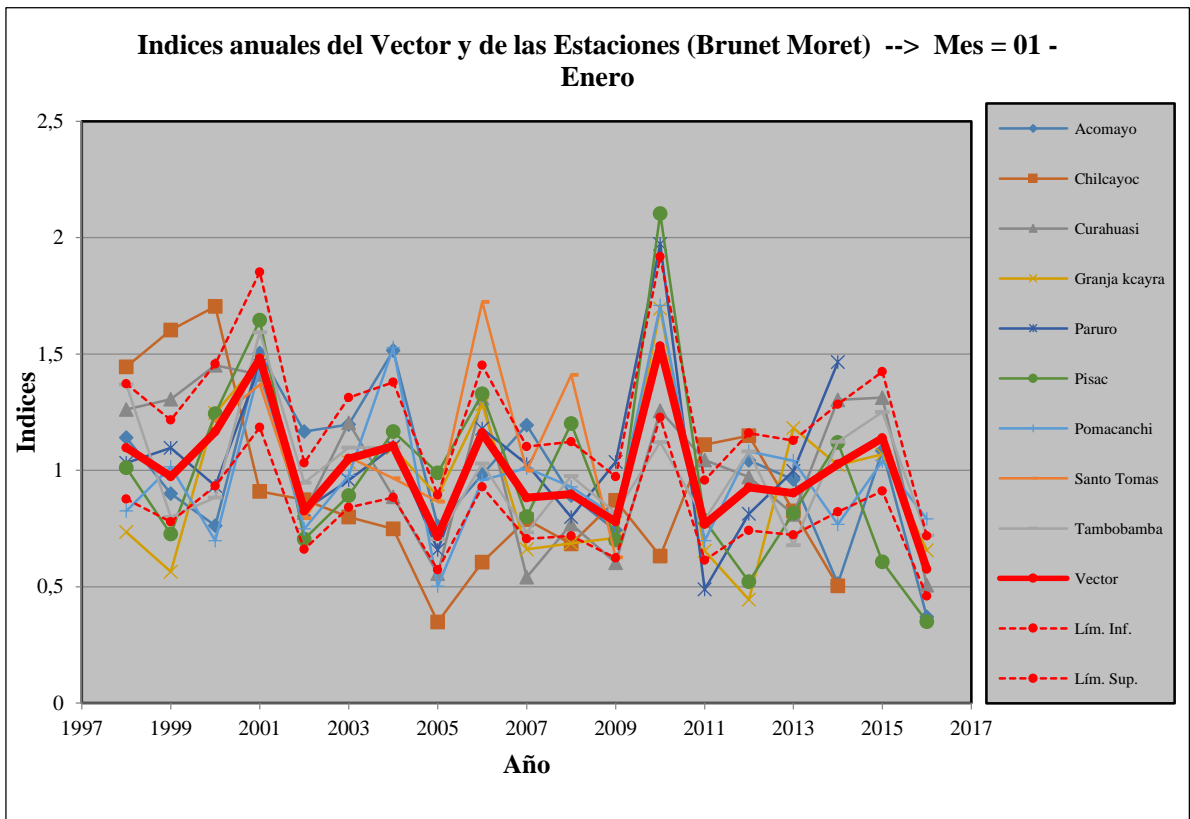
Tomando como indicador de la regionalización el régimen de precipitación respecto a la altitud, conlleva a la eliminación de las estaciones Chilcayoc y Chivay, y la baja correlación obtenida en la aplicación el Método del Vector Regional, determinan que para la Intercuenca Alto Apurímac no existe una relación predominante entre la precipitación y la altitud.

**Tabla 6: Resultados de la aplicación del método de vector regional a los datos producto de la regionalización precipitación promedio anual vs altitud**

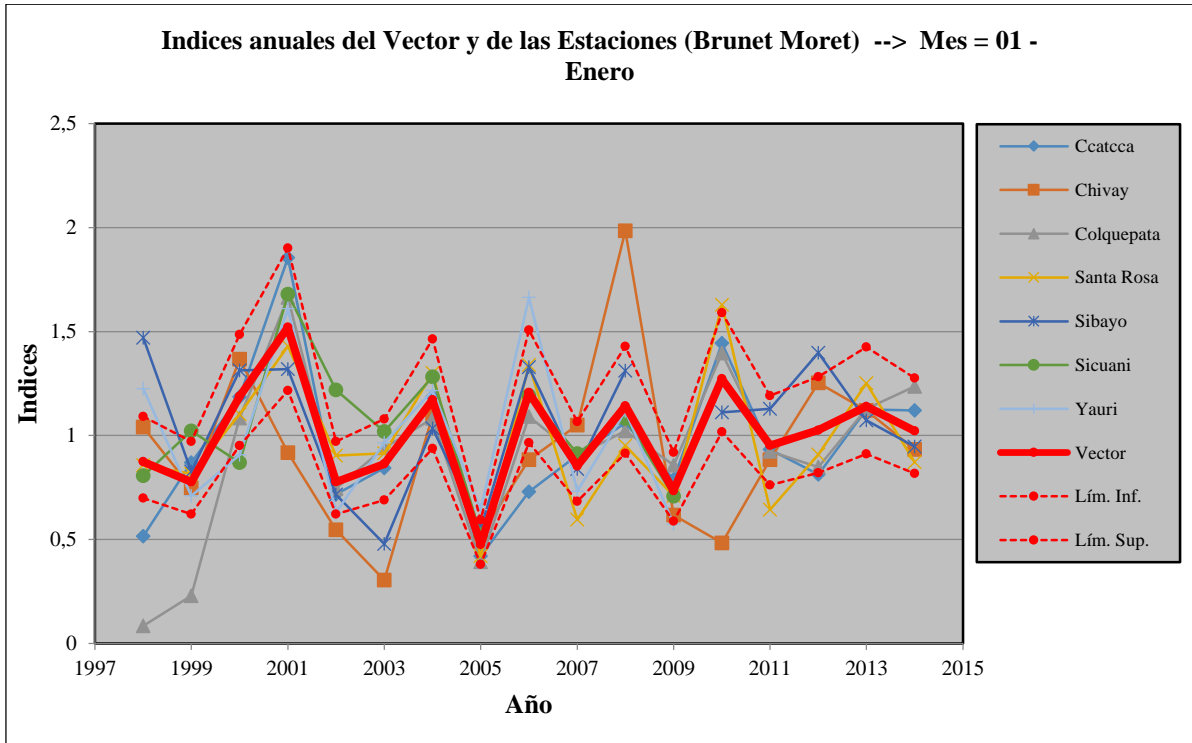
| REGIONALIZACIÓN: PRECIPITACIÓN - ALTITUD |                    |               |              |                 | REGIONALIZACIÓN: PRECIPITACIÓN - ALTITUD |                  |              |              |                 |
|--|--------------------|---------------|--------------|-----------------|--|------------------|--------------|--------------|-----------------|
| Zona                                     | N°                 | Estación      | D.E. Desvíos | Correl. /Vector | Zona                                     | N°               | Estación     | D.E. Desvíos | Correl. /Vector |
| Zona 1                                   | 1                  | Chichas       | 0.48         | 0.79            | Zona 3                                   | 15               | Ccatcca      | 0.19         | 0.84            |
|  | 2                  | Choco         | 0.35         | 0.76            |  | <b>16 Chivay</b> | <b>0.37</b>  | <b>0.40</b>  |                 |
|  | 3                  | Coracora      | 0.23         | 0.92            |  | 17               | Colquepata   | 0.26         | 0.79            |
|  | 4                  | Cotahuasi     | 0.19         | 0.94            |  | 18               | Santa Rosa   | 0.16         | 0.86            |
|  | 5                  | Madrigal      | 0.35         | 0.90            |  | 19               | Sibayo       | 0.23         | 0.66            |
| Zona 2                                   | 6                  | Acomayo       | 0.23         | 0.61            | 20                                       | Sicuni           | 0.19         | 0.80         |                 |
|  | <b>7 Chilcayoc</b> | <b>0.43</b>   | <b>0.06</b>  | 21              | Yauri                                    | 0.21             | 0.82         |              |                 |
|  | 8                  | Curahuasi     | 0.20         | 0.77            | Zona 4                                   | 22               | Caylloma     | 0.10         | 0.96            |
|  | 9                  | Granja kcayra | 0.21         | 0.79            |  | 23               | Imata        | 0.18         | 0.84            |
|  | 10                 | Paruro        | 0.20         | 0.82            |  | 24               | La Angostura | 0.14         | 0.89            |
|  | 11                 | Pisac         | 0.25         | 0.82            |  | 25               | Pampahuta    | 0.22         | 0.77            |
|  | 12                 | Pomacanchi    | 0.20         | 0.73            |  | 26               | Porpera      | 0.20         | 0.77            |
|  | 13                 | Santo Tomas   | 0.26         | 0.64            |  |                  |              |              |                 |
| 14                                       | Tambobamba         | 0.17          | 0.74         |                 |  |                  |              |              |                 |



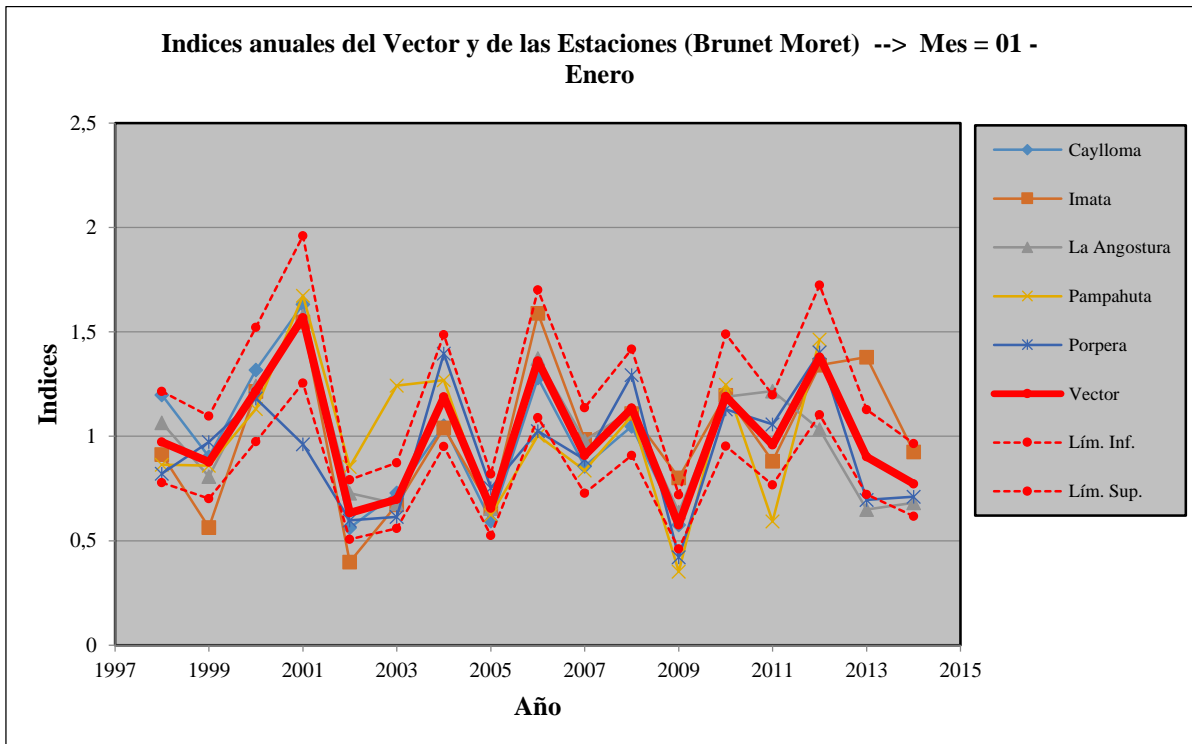
**Figura 15: Índices anuales del vector regional para la zona I**



**Figura 16: Índices anuales del vector regional para la zona II**



**Figura 17: Índices anuales del vector regional para la zona III**



**Figura 18: Índices anuales del vector regional para la zona IV**

El segundo criterio de zonificación se basó en la superposición de las estaciones sobre las

zonas climáticas del Mapa de Clasificación Climática por el método de Thornthwaite elaborado por el MINAM, donde se hallaron cuatro zonas climáticas, sin embargo, en dicha clasificación se tuvo que obviar a la estación Chilcayoc, debido a que el MVR requiere como mínimo de tres estaciones por región para su aplicación.

**Tabla 7: Resultados para la regionalización mediante el Método del Vector Regional – Precipitación/Altitud**

| REGIONALIZACIÓN: MAPA CLIMÁTICO MINAM |    |               |              |                 | REGIONALIZACIÓN: MAPA CLIMÁTICO MINAM |        |              |              |                 |      |
|---------------------------------------|----|---------------|--------------|-----------------|---------------------------------------|--------|--------------|--------------|-----------------|------|
| Zona                                  | N° | Estación      | D.E. Desvíos | Correl. /Vector | Zona                                  | N°     | Estación     | D.E. Desvíos | Correl. /Vector |      |
| Zona 1                                | 1  | Curahuasi     | 0.24         | 0.65            | Zona 3                                | 14     | Chichas      | 0.45         | 0.84            |      |
|                                       | 2  | Granja Kcayra | 0.20         | 0.80            |                                       | 15     | Chivay       | 0.25         | 0.83            |      |
|                                       | 3  | Paruro        | 0.16         | 0.86            |                                       | 16     | Choco        | 0.32         | 0.80            |      |
|                                       | 4  | Pomacanchi    | 0.17         | 0.82            |                                       | 17     | Coracora     | 0.29         | 0.88            |      |
|                                       | 5  | Santa Rosa    | 0.13         | 0.92            |                                       | 18     | Cotahuasi    | 0.19         | 0.93            |      |
|                                       | 6  | Santo Tomas   | 0.20         | 0.72            |                                       | 19     | Madrigal     | 0.37         | 0.91            |      |
|                                       | 7  | Sicuani       | 0.15         | 0.85            |                                       | 20     | Sibayo       | 0.31         | 0.76            |      |
|                                       | 8  | Tambobamba    | 0.20         | 0.69            |                                       | Zona 4 | 21           | Caylloma     | 0.10            | 0.96 |
|                                       | 9  | Yauri         | 0.16         | 0.92            |                                       |        | 22           | Imata        | 0.18            | 0.84 |
| Zona 2                                | 10 | Acomayo       | 0.27         | 0.54            | 23                                    |        | La Angostura | 0.14         | 0.89            |      |
|                                       | 11 | Ccatcca       | 0.16         | 0.89            | 24                                    |        | Pampahuta    | 0.22         | 0.77            |      |
|                                       | 12 | Colquepata    | 0.23         | 0.84            | 25                                    |        | Porpera      | 0.20         | 0.77            |      |
|                                       | 13 | Pisac         | 0.21         | 0.85            |                                       |        |              |              |                 |      |

En la Zona 1, la D.E.D presenta valores por debajo de 0.25, y valores de correlación con el vector mayores a 0.70, excepto por la estación Curahuasi, en donde esta alcanza un valor de 0.65. La estación Acomayo ubicada en la Zona 2, presenta una correlación de 0.54 y una D. E. D. de 0.27. La Zona 3 y 4 presentan valores por encima de 0.75 respecto a la Correlación/Vector, cabe resaltar que la Zona 4 contiene las mismas estaciones que se obtuvo en la de la zonificación “Precipitación-Altitud”.

Las estaciones en mención hacen suponer que presentan un régimen de precipitación similar a las demás estaciones en las zonas que fueron clasificadas, pero dado que el presente estudio buscar validar la información sensorial, más no regionalizar la cuenca, no se ha profundizado en la aplicación de un método de validación adicional más robusto, si bien es cierto en el presente se han tomado dos criterios como un paso previo para la aplicación del M.V.R. el cual nos facilita la completación de datos y valida la zonificación de las estaciones según su régimen pluviométrico anual, se opta por seleccionar como método de zonificación el segundo método, debido a que hay una menor pérdida de información en el descarte de

estaciones por medio de la zonificación.

#### **4.3. Completación de información**

El M.V.R. brindo un alcance la sobre la homogeneidad de las regiones, partiendo de esto se realizó la completación de datos faltantes mediante el Método del US National Weather Service. Con el fin de no aumentar el sesgo de la información observada, se realizó la completación de las estaciones que presentaban como máximo 10 datos faltantes a nivel mensual. El Anexo 1 muestra las series de tiempo completadas.

#### **4.4. Índices de eficiencia de detección de lluvia**

Los cálculos de estadísticos de detección se evaluaron mediante la tabla de contingencia. La Tabla 8 muestra los estadísticos de detección de eventos de lluvia evaluados mediante la tabla de contingencia, los cuales fueron desarrollados considerando un umbral de lluvia de 0.5 mm/d.

De acuerdo a la Tabla 8 se evidencia que según el POD los productos TRMM y CHIRPS tienen similar capacidad de detección de excepto en las estaciones Choco y La Angostura, en donde el producto CHIRPS presenta un índice de 0.9. Hossain y Huffman (2008) citado por Ramos (2013), menciona que la POD depende de la resolución del producto de satélite, región, estación del año y umbral de precipitación. Lo cual explicaría el menor valor para el POD para el producto CHIRPS, dado que la resolución del producto (cobertura de pixel) TRMM es más alta, su capacidad de detección de los eventos será mayor. El Ratio de falsa alarmas (FAR), es similar en ambos productos en donde el valor óptimo es cero, el cual indica que no hubo registro de precipitación y que los productos no han registrado dicho evento. Se aprecia que la estación Choco es la única estación en donde el producto TRMM es ligeramente mejor con un índice de 0.2 a diferencia del producto CHIRPS que cuenta con un índice de 0.3. Al igual que los índices anteriores el CSI y PC son similares en ambos productos excepto en la estación Choco, donde el producto TRMM presenta un mejor rendimiento que el producto CHIRPS. Finalmente, el FBIAS que muestra la relación entre la frecuencia de los eventos de precipitación estimada y la frecuencia de los eventos observados, presenta valores mayores e iguales a la unidad, lo cual se interpreta como una sobre estimación en la ocurrencia de eventos de precipitación estimada por parte de ambos productos.

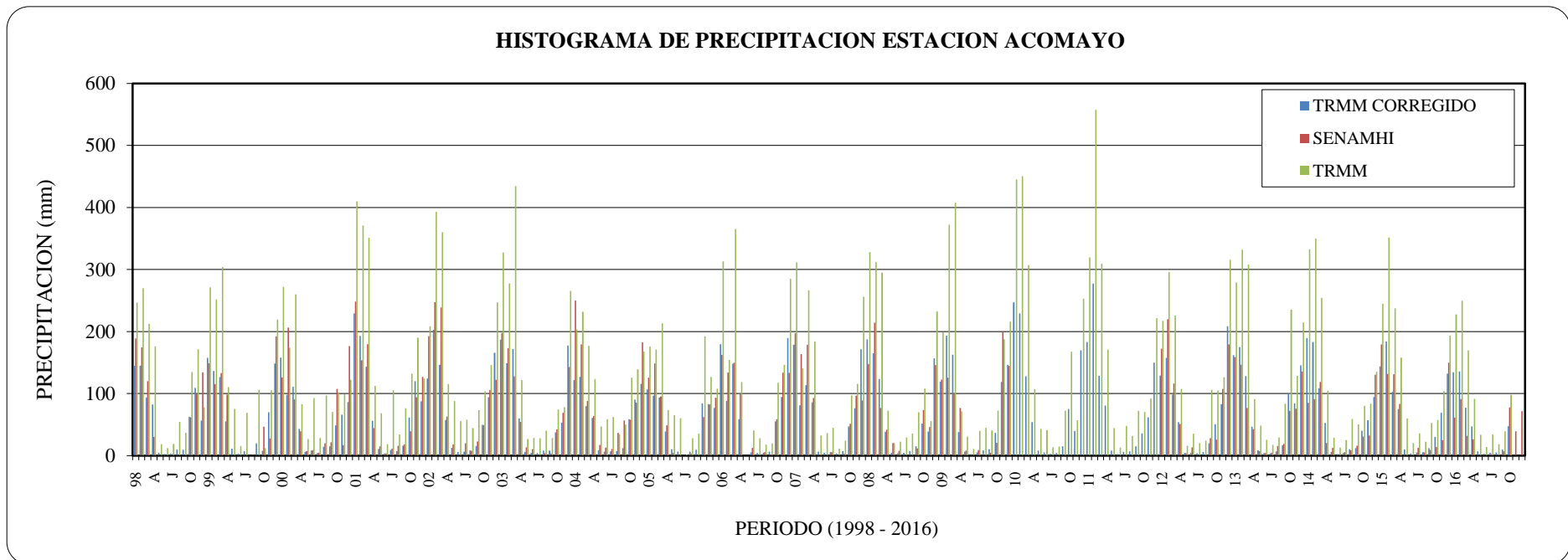
**Tabla 8: Índices de eficiencia de detección de lluvia**

| ESTACIÓN             | POD  |        | FAR  |        | CSI  |        | PC   |        | FBIAS |        |
|----------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|-------|--------|
|                      | TRMM | CHIRPS | TRMM | CHIRPS | TRMM | CHIRPS | TRMM | CHIRPS | TRMM  | CHIRPS |
| <b>Acomayo</b>       | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Caylloma</b>      | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Ccatcca</b>       | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Chichas</b>       | 1.0  | 1.0    | 0.4  | 0.4    | 0.6  | 0.6    | 0.6  | 0.6    | 1.8   | 1.8    |
| <b>Chilcayoc</b>     | 1.0  | 1.0    | 0.0  | 0.0    | 1.0  | 1.0    | 1.0  | 1.0    | 1.0   | 1.0    |
| <b>Chivay</b>        | 1.0  | 1.0    | 0.3  | 0.3    | 0.7  | 0.7    | 0.7  | 0.7    | 1.4   | 1.4    |
| <b>Choco</b>         | 1.0  | 0.9    | 0.2  | 0.3    | 0.8  | 0.7    | 0.8  | 0.7    | 1.3   | 1.3    |
| <b>Colquepata</b>    | 1.0  | 1.0    | 0.0  | 0.0    | 1.0  | 1.0    | 1.0  | 1.0    | 1.0   | 1.0    |
| <b>Coracora</b>      | 1.0  | 1.0    | 0.2  | 0.2    | 0.8  | 0.8    | 0.8  | 0.8    | 1.3   | 1.3    |
| <b>Cotahuasi</b>     | 1.0  | 1.0    | 0.3  | 0.3    | 0.7  | 0.7    | 0.7  | 0.7    | 1.5   | 1.5    |
| <b>Curahuasi</b>     | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.0   | 1.1    |
| <b>Granja kcayra</b> | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.0   | 1.1    |
| <b>Imata</b>         | 1.0  | 1.0    | 0.2  | 0.2    | 0.8  | 0.8    | 0.8  | 0.8    | 1.2   | 1.2    |
| <b>La Angostura</b>  | 1.0  | 0.9    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.8    | 0.9  | 0.8    | 1.1   | 1.0    |
| <b>Madrigal</b>      | 1.0  | 1.0    | 0.3  | 0.3    | 0.7  | 0.7    | 0.7  | 0.7    | 1.4   | 1.4    |
| <b>Pampahuta</b>     | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Paruro</b>        | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Pisac</b>         | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Pomacanchi</b>    | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Porpera</b>       | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Santa Rosa</b>    | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Santo Tomas</b>   | 1.0  | 1.0    | 0.2  | 0.2    | 0.8  | 0.8    | 0.8  | 0.8    | 1.3   | 1.3    |
| <b>Sibayo</b>        | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.2   | 1.2    |
| <b>Sicuani</b>       | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Tambobamba</b>    | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |
| <b>Yauri</b>         | 1.0  | 1.0    | 0.1  | 0.1    | 0.9  | 0.9    | 0.9  | 0.9    | 1.1   | 1.1    |



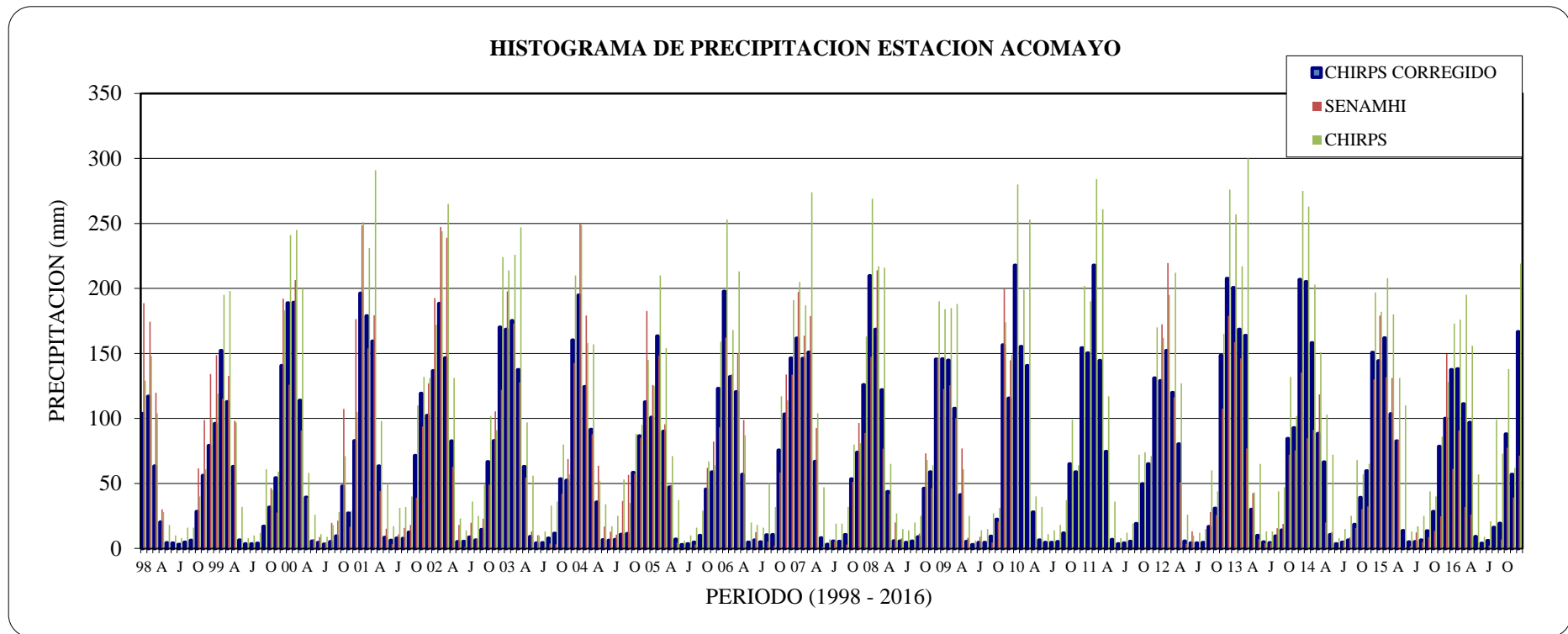
#### 4.5. Corrección de información

El modelo de corrección aplicado es el que se detalla en la **Sección 4.4**, la corrección y análisis de la información se dio mediante la aplicación del modelo multiplicativo a nivel de estación (previo tratamiento de información punto – grilla), los resultados de dicha corrección se muestran en el Anexo 2, la Figura 19 muestra el histograma con los valores de precipitación del SENAMHI, producto TRMM y producto TRMM corregido para la estación Acomayo, en donde se observa que existe una sobreestimación de la precipitación por parte de la del producto TRMM, posterior a la corrección se visualiza una disminución en los picos por parte del producto TRMM corregido.

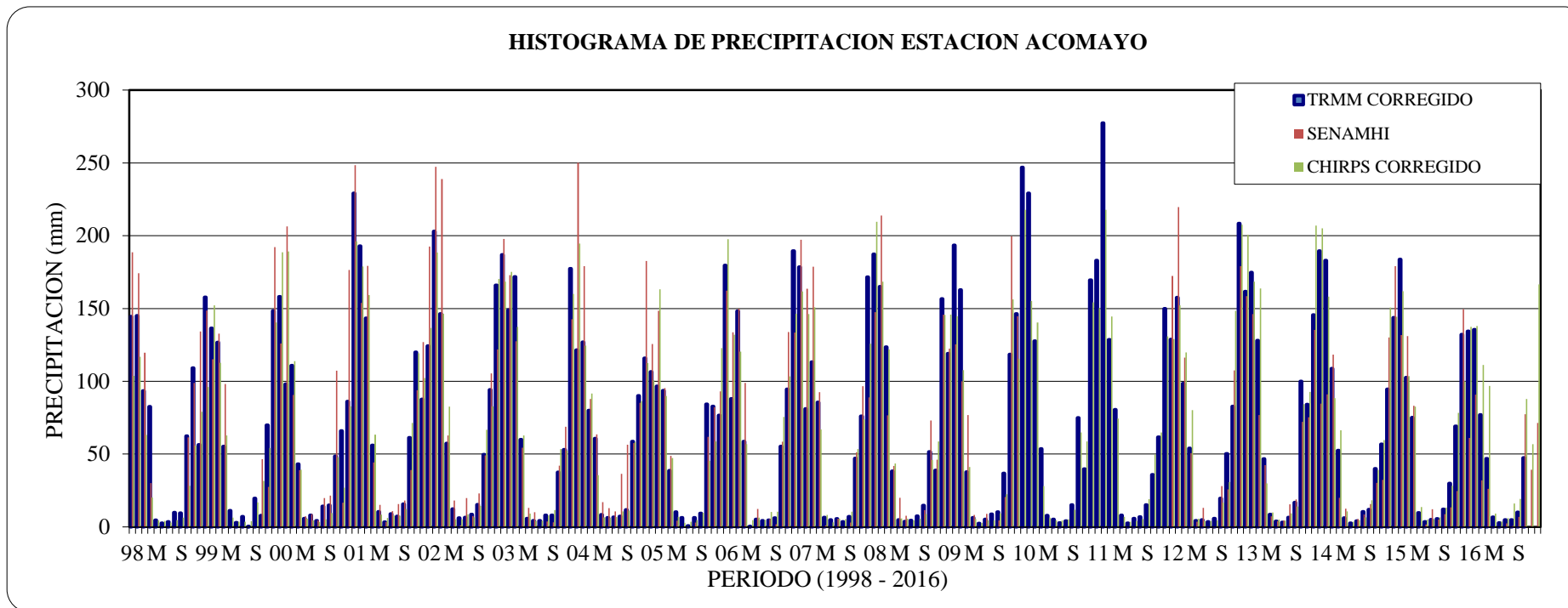


**Figura 19: Histograma de información del SENAMHI, Producto TRMM y Producto TRMM corregido**

La Figura 20 muestra el histograma con los valores de precipitación del SENAMHI, el producto CHIRPS y producto CHIRPS corregido para la estación Acomayo, al igual que el caso anterior se observa una sobreestimación de la precipitación por parte del producto CHIRPS en comparación del producto CHIRPS corregido.



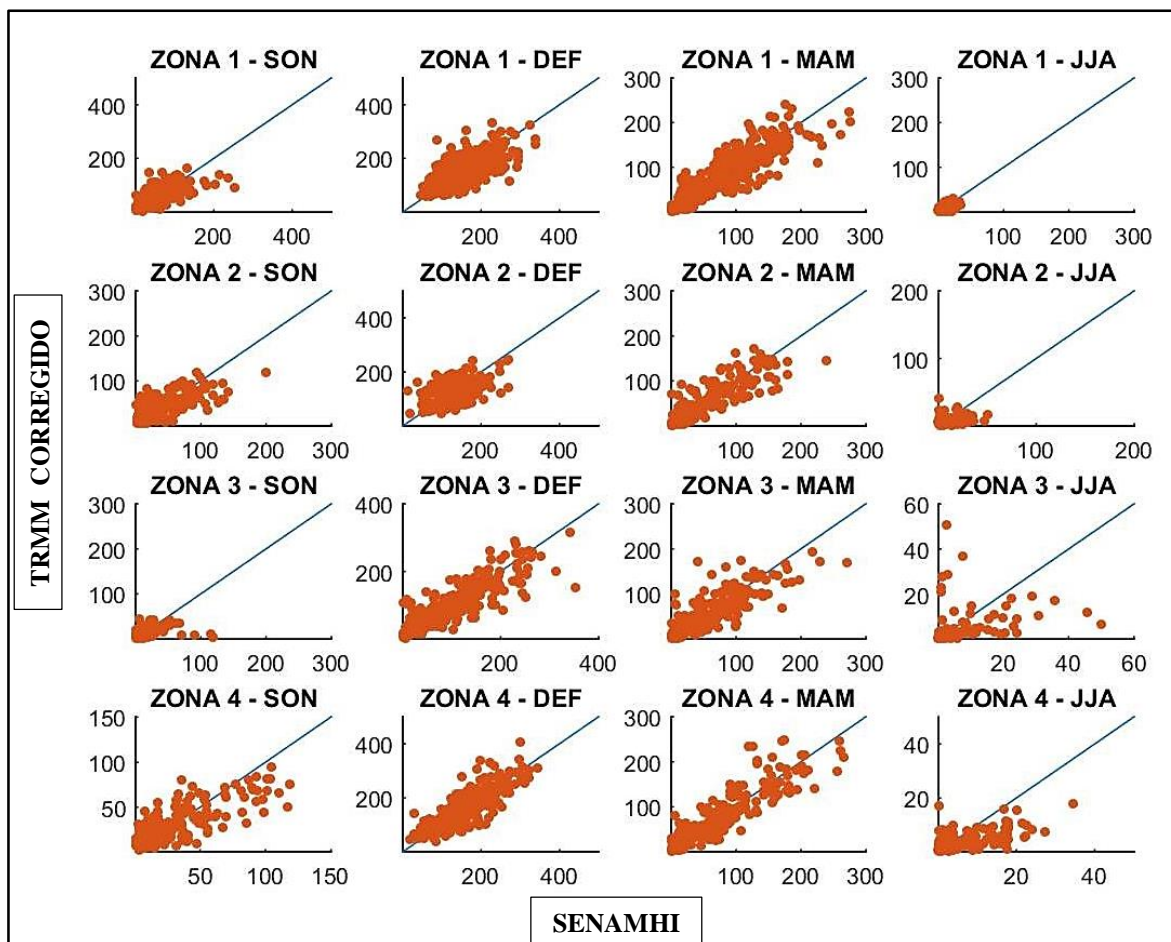
**Figura 20: Histograma de comparación de la precipitación del SENAMHI, Producto CHIRPS y Producto CHIRPS corregido**



**Figura 21:** Histograma de comparación de la precipitación del SENAMHI, Producto CHIRPS y Producto CHIRPS corregido

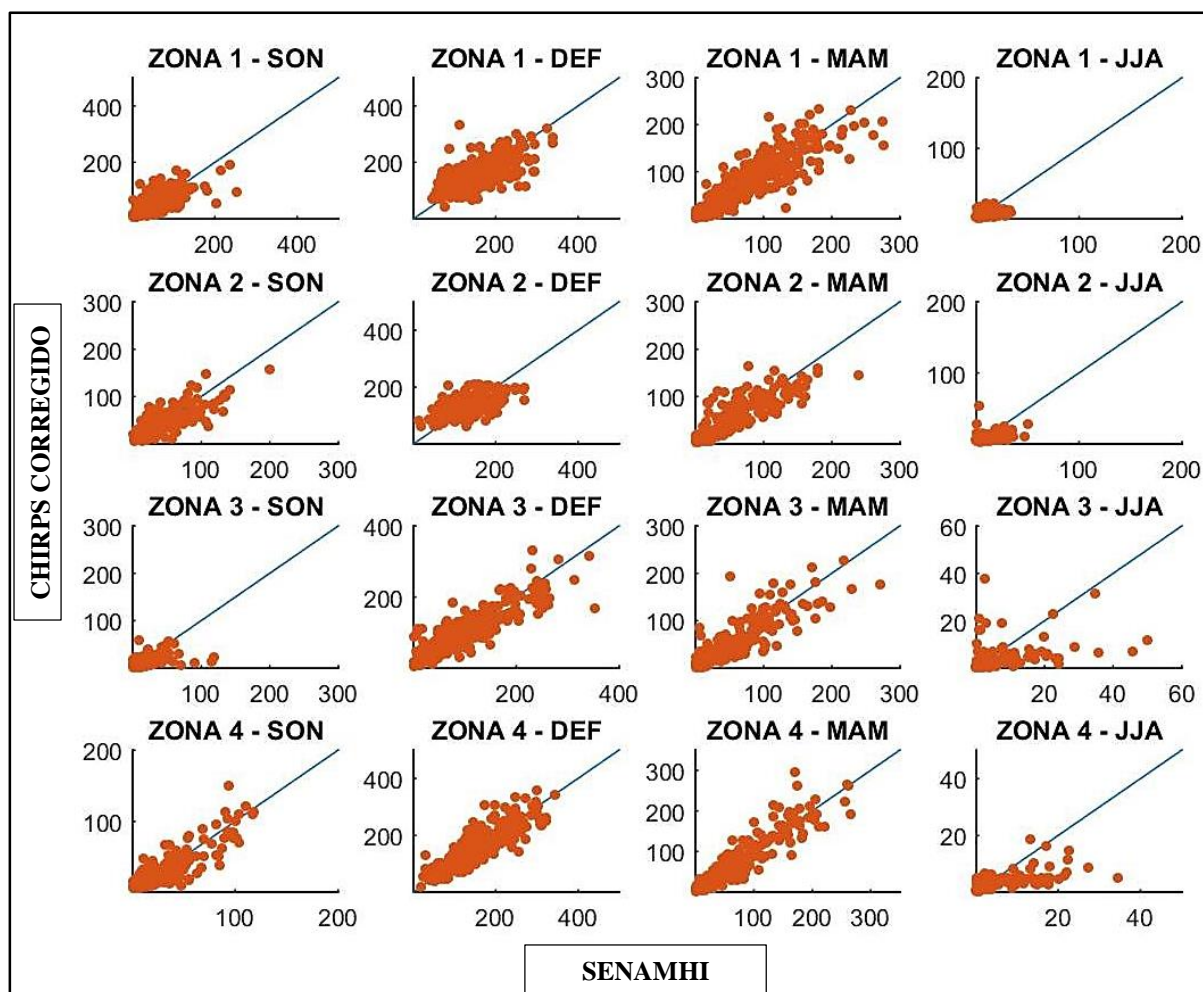
La validación del modelo se da con la aplicación de los indicadores estadísticos RMSE, NSE, PPMCC. Las Tablas 9, 10 y 11, muestran las medidas de bondad de ajuste entre los datos de SENAMHI, TRMM y CHIRPS corregidos por el modelo multiplicativo, a nivel; regional – estacional; punto – grilla; regional – mensual.

La Figura 22 presenta una comparación entre los datos de la información observada el SENAMHI y el producto TRMM corregido a nivel zonal - estacional, se observa que para el periodo SON existe una subestimación por parte del producto TRMM corregido en comparación con la información observada del SENAMHI para todas las zonas. El periodo DEF presenta un mejor comportamiento de la información, lo cual se corrobora con la información de la Tabla 9, donde el coeficiente de correlación de Pearson indica que existe una relación lineal entre las dos variables, el NSE para la Zona 1 presenta un desempeño satisfactorio con un valor de 0.33, la Zona 2 da un valor de 0.09 presentando un desempeño del modelo insuficiente, la Zona 3 y 4 presentan un comportamiento muy bueno. Para el periodo MAM para la zona 1 se observa que existe una subestimación de los datos por parte del producto TRMM corregido, asimismo la Zona 4 presenta una sobreestimación por parte del producto TRMM corregido. Finalmente, para el periodo JJA se observa que solo la zona 1 presenta una tendencia lineal entre las dos variables, a diferencia de las demás zonas en donde se observa que predomina la subestimación por parte del producto TRMM corregido



**Figura 22: Comparación datos SENAMHI y producto TRMM corregido**

La Figura 23 presenta una comparación entre los datos de la información observada del SENAMHI y el producto CHIRPS corregido a nivel zonal - estacional, se observa que para el periodo SON en las Zonas 1, 2 y 3 es más evidente la subestimación de la información por parte del producto CHIRPS corregido. En el periodo DEF existe una subestimación en las Zonas 1, 2 y 3 por parte del producto estimado y en la zona 4 dicho producto presenta una sobreestimación lo cual se corrobora con NSE y el coeficiente de correlación de Pearson, en donde para el primero presenta una baja eficiencia en la estimación y el segundo se observa una correlación lineal positiva baja. Para el periodo MAM se observa que los datos son cercanos a la línea identidad, lo cual se corrobora con el NSE, RMSE y coeficiente de correlación de Pearson de la Tabla 9. En el periodo JJA existe una subestimación de los datos del producto CHIRPS corregido en comparación con la información de lluvia observada, asimismo el NSE presenta una baja eficiencia en la detección y el coeficiente de correlación de Pearson indica una baja correlación lineal positiva en la totalidad de estaciones.



**Figura 23: Comparación datos SENAMHI y producto CHIRPS corregido**

**Tabla 9: Resultados de validación a nivel regional y estacional**

| MES | REGIÓN | NASH - SUTCLIFFE |        | RMSE |        | COEF. CORREL |        |
|-----|--------|------------------|--------|------|--------|--------------|--------|
|     |        | TRMM             | CHIRPS | TRMM | CHIRPS | TRMM         | CHIRPS |
| SON | Z1     | 0.51             | 0.53   | 27   | 26     | 0.73         | 0.75   |
|     | Z2     | 0.52             | 0.68   | 24   | 19     | 0.72         | 0.82   |
|     | Z3     | 0.33             | 0.31   | 13   | 13     | 0.57         | 0.56   |
|     | Z4     | 0.62             | 0.74   | 16   | 14     | 0.79         | 0.86   |
| DEF | Z1     | 0.33             | 0.39   | 42   | 40     | 0.65         | 0.66   |
|     | Z2     | 0.09             | 0.36   | 44   | 37     | 0.49         | 0.61   |
|     | Z3     | 0.73             | 0.78   | 37   | 33     | 0.86         | 0.88   |
|     | Z4     | 0.65             | 0.71   | 41   | 37     | 0.83         | 0.86   |
| MAM | Z1     | 0.83             | 0.83   | 24   | 24     | 0.91         | 0.91   |
|     | Z2     | 0.76             | 0.77   | 24   | 23     | 0.87         | 0.88   |
|     | Z3     | 0.74             | 0.78   | 24   | 23     | 0.86         | 0.88   |
|     | Z4     | 0.83             | 0.88   | 26   | 23     | 0.92         | 0.94   |
| JJA | Z1     | 0.34             | 0.29   | 5    | 5      | 0.59         | 0.54   |
|     | Z2     | 0.01             | 0.22   | 9    | 8      | 0.36         | 0.48   |
|     | Z3     | -0.48            | 0.18   | 20   | 15     | 0.20         | 0.42   |
|     | Z4     | 0.33             | 0.14   | 5    | 6      | 0.59         | 0.39   |

La Tabla 10 presenta un análisis punto - grilla, la cual presenta los resultados de la comparación de la información de los productos TRMM y CHIRPS en comparación con la información de lluvia observada por el SENAMHI.

En la Zona 1 se observa que el valor obtenido para NSE presenta un mínimo valor de 0.74 y máximo de 0.90, por lo que el modelo aplicado para la corrección presenta un desempeño entre muy bueno y excelente.

En la Zona 2 el NSE presenta un mínimo valor de 0.74 y máximo de 0.89, el desempeño del modelo presenta un ajuste entre muy bueno y excelente, sin embargo, en la estación Acomayo presenta los menores valores para los dos productos corregidos clasificándose como un ajuste bueno a diferencia de las demás estaciones del grupo.

En la Zona 3 el NSE para la mayoría de estaciones se presenta un valor mínimo valor de 0.78 y máximo de 0.90, sin embargo, en la estación Madrigal se observa un menor índice para la corrección del producto TRMM y CHIRPS, por lo que el ajuste al modelo se puede calificar como bueno.

En la Zona 4 el NSE presenta un mínimo valor de 0.84 y máximo de 0.92 (ajuste excelente), por lo que el modelo aplicado para la corrección presentó un mejor desempeño en la totalidad de estaciones en comparación de las demás regiones.

El coeficiente de correlación Pearson, para los productos TRMM y CHIRPS corregidos y la información observada del SENAMHI, nos indica que existe una relación lineal fuerte en la totalidad de estaciones.

El RMSE presenta los menores valores en la Zona 3 y 4, sin embargo, en la Zona 3 al igual que el NSE la estación Madrigal difiere de los resultados de las demás estaciones, lo mismo sucede en la zona II donde la estación Acomayo presenta mayores valores a diferencia de las demás estaciones dicha región.

Para el análisis punto – grilla, se observa que las estaciones ubicadas dentro de la Zona 4 presentan una mejor correlación lineal positiva entre sus estaciones, así como una mejor eficiencia en la corrección de la información por parte del modelo multiplicativo.

**Tabla 10: Resultados de validación a nivel punto - grilla**

| ZONA | N  | ESTACIÓN      | NASH - SUTCLIFFE |        | RMSE |        | COEF. CORREL |        |
|------|----|---------------|------------------|--------|------|--------|--------------|--------|
|      |    |               | TRMM             | CHIRPS | TRMM | CHIRPS | TRMM         | CHIRPS |
| 1    | 1  | Curahuasi     | 0.85             | 0.87   | 24   | 23     | 0.92         | 0.93   |
|      | 2  | Granja kcayra | 0.85             | 0.90   | 23   | 18     | 0.93         | 0.95   |
|      | 3  | Paruro        | 0.74             | 0.80   | 37   | 33     | 0.87         | 0.90   |
|      | 4  | Pomacanchi    | 0.69             | 0.65   | 38   | 40     | 0.84         | 0.82   |
|      | 5  | Santa Rosa    | 0.86             | 0.88   | 26   | 23     | 0.93         | 0.94   |
|      | 6  | Santo Tomas   | 0.88             | 0.86   | 25   | 27     | 0.94         | 0.93   |
|      | 7  | Sicuani       | 0.76             | 0.86   | 30   | 22     | 0.88         | 0.93   |
|      | 8  | Tambobamba    | 0.86             | 0.90   | 31   | 27     | 0.93         | 0.95   |
|      | 9  | Yauri         | 0.89             | 0.86   | 25   | 28     | 0.94         | 0.93   |
| 2    | 10 | Acomayo       | 0.47             | 0.57   | 49   | 44     | 0.73         | 0.78   |
|      | 11 | Ccatcca       | 0.82             | 0.88   | 24   | 19     | 0.91         | 0.94   |
|      | 12 | Colquepata    | 0.74             | 0.89   | 29   | 19     | 0.86         | 0.94   |
|      | 13 | Pisac         | 0.79             | 0.78   | 25   | 25     | 0.89         | 0.88   |
| 3    | 14 | Chichas       | 0.78             | 0.82   | 13   | 11     | 0.88         | 0.91   |
|      | 15 | Chivay        | 0.88             | 0.90   | 19   | 18     | 0.94         | 0.95   |
|      | 16 | Choco         | 0.80             | 0.84   | 16   | 15     | 0.90         | 0.92   |
|      | 17 | Coracora      | 0.82             | 0.83   | 27   | 26     | 0.91         | 0.91   |
|      | 18 | Cotahuasi     | 0.86             | 0.89   | 17   | 14     | 0.93         | 0.95   |
|      | 19 | Madrigal      | 0.55             | 0.66   | 44   | 39     | 0.75         | 0.81   |
|      | 20 | Sibayo        | 0.88             | 0.92   | 26   | 22     | 0.94         | 0.96   |
|      | 21 | Caylloma      | 0.91             | 0.93   | 23   | 21     | 0.96         | 0.96   |
| 4    | 22 | Imata         | 0.84             | 0.93   | 24   | 15     | 0.92         | 0.97   |
|      | 23 | La Angostura  | 0.89             | 0.87   | 26   | 28     | 0.94         | 0.94   |
|      | 24 | Pampahuta     | 0.88             | 0.92   | 27   | 21     | 0.94         | 0.96   |
|      | 25 | Porpera       | 0.90             | 0.92   | 27   | 25     | 0.95         | 0.96   |

La Tabla 11 presenta el análisis realizado mediante el NSE, RMSE y el coeficiente de correlación de Pearson, a nivel regional – mensual.

En el mes de enero se aprecia que para las tres medidas de evaluación el producto CHIRPS presenta una mejor eficiencia en la estimación y una mejor relación lineal entre la información observada y estimada, para la Zona 2 el producto CHIRPS presenta un NSE de



0.35 y una relación lineal positiva con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.60.

El mes de febrero en NSE en la Zona 1 y 2 presenta una baja eficiencia en la predicción para los dos productos, para la zona 1 el RMSE presenta una similar desviación respecto a la media en los dos productos, asimismo el coeficiente de correlación de Pearson para dicha zona presenta una similar relación lineal entre las 2 variables. El NSE para el producto TRMM corregido en la zona 2 presenta un índice de -0.30, lo cual indica que el para este caso un promedio de los valores es mucho mejor que el predictor. La Zona 3 y 4 para los dos productos corregidos presentan una muy buena eficiencia en la predicción y una buena relación línea para ambos modelos, sin embargo, el producto CHIRPS presenta un mejor comportamiento en el modelo corregido para todas las zonas.

En el mes de marzo el producto CHIRPS corregido presenta un mejor comportamiento para la Zona 1,3 y 4, para la Zona 2 el producto TRMM presenta una mejor eficiencia en la predicción según el NSE, un menor RMSE y una mejor relación entre la variable observada y estimada, sin embargo, dicha diferencia no es significativa.

En el mes de abril el producto CHIRPS corregido presenta un mejor comportamiento para todas las zonas, presentando una relación lineal positiva entre la variable observada y estimada, y un NSE con una eficiencia en la estimación en la Zona 3 y 4 de 0.52 y 0.61 respectivamente (buena).

En el mes de mayo el producto TRMM corregido presenta un mejor comportamiento en la zona 1 y 3, siendo el NSE de 0.38 frente a 0.22 en la Zona 1 y 0.31 frente a 0.19 para los productos TRMM y CHIRPS respectivamente, asimismo el coeficiente de correlación de Pearson corrobora que existe una mejor relación lineal de la variable observada y el producto TRMM para la Zona 1 y 2, siendo dichos valores de 0.63 y 0.57 respectivamente.

En el mes de junio el NSE para el producto TRMM muestra valores por debajo de 0.20 para todas las zonas, siendo la eficiencia de detección del modelo insuficiente para dicho producto, sin embargo la Zona 2 presenta un NSE de 0 y la zona 3 un NSE de -0.30 para el producto TRMM, a diferencia del producto CHIRPS el cual presenta un NSE positivo menor

a 0.20, asimismo el coeficiente de correlación de Pearson indica que existe una relación lineal positiva entre las variables con un coeficiente por debajo de 0.50 para todas las zonas y productos.

El mes de julio presenta un mejor comportamiento del producto TRMM frente al producto CHIRPS en la Zona 1 y 4, siendo esta diferencia más significativa en la Zona 4, donde se tiene un NSE de 0.34 y 0.02, y un coeficiente de correlación de Pearson de 0.60 y 0.28 para los productos TRMM y CHIRPS corregidos respectivamente, la Zona 2 presenta un mejor comportamiento para el producto CHIRPS con un NSE satisfactorio de 0.43 y una relación lineal positiva entre la variables observada y estimada de 0.71.

En el mes de agosto la Zona 2 y 3 presenta una ineficiente eficiencia de estimación para las zonas 2 y 3, presentando una relación lineal positiva con un coeficiente de correlación de Pearson entre 0.23 y 0.43 para ambos productos en dichas zonas. Asimismo, al igual que el mes de julio el producto TRMM presenta una mejor eficiencia en la detección y relación lineal entre la variable observada y estimada en comparación con el producto CHIRPS.

En el mes de setiembre el producto TRMM en la Zona 1 presenta un NSE más eficiente y una mayor relación positiva entre las variables, la Zona 2,3 y 4 presentan un mejor comportamiento para el producto CHIRPS, sin embargo, la Zona 2 presenta un NSE insuficiente a diferencia de las otras dos zonas donde el ajuste se considera satisfactorio.

En el mes de octubre el producto CHIRPS presenta un NSE más eficiente que el producto TRMM, sin embargo, en la Zona 1 se tiene un ajuste insuficiente, la Zona 2 y 3 un ajuste bueno y la Zona 4 un ajuste muy bueno, asimismo el coeficiente de correlación de Pearson para las 4 zonas presenta una relación lineal positiva, presentando un mejor comportamiento en la Zona 2 y 4.

En el mes de noviembre la Zona 2 presenta un NSE negativo, por lo que el promedio mensual sería un mejor predictor, asimismo se tiene un RMSE de 40 y una baja relación lineal entre las variables. El producto TRMM presenta un mejor desempeño en la zona 3, así como una mejor relación con la variable observada. En la Zona 4 el producto CHIRPS presenta un

NSE muy bueno, un RMSE de 14 frente a 21 del producto TRMM y una alta relación con la variable observada.

El mes de diciembre presenta un mejor comportamiento para el producto CHIRPS en todas las zonas, sin embargo, el desempeño que presenta en la Zona 1,2 y 4 se considera satisfactorio, frente a al desempeño en la Zona 3 que se considera muy bueno, asimismo el coeficiente de correlación de Pearson muestra una buena relación positiva entre las variables observada y estimada para todas las zonas.

En general, se observa que a nivel mensual existe un mejor comportamiento del producto CHIRPS corregido para un análisis regional, presentándose un mejor desempeño en los meses de lluvia, sin embargo, en los meses de mayo, junio, julio, agosto y setiembre, se presenta un bajo desempeño en la eficiencia en la aplicación del modelo de corrección. Asimismo, el coeficiente de correlación de Pearson evidencia la existencia de una relación lineal positiva para todos los meses, siendo esta mayor para el producto CHIRPS corregido.

**Tabla 11: Resultados de validación a nivel mensual y zonal**

| MES     | REGIÓN | TRMM             | CHIRPS | TRMM | CHIRPS | TRMM         | CHIRPS |
|---------|--------|------------------|--------|------|--------|--------------|--------|
|         |        | NASH - SUTCLIFFE |        | RMSE |        | COEF. CORREL |        |
| ENERO   | Z1     | 0.40             | 0.49   | 42   | 39     | 0.70         | 0.72   |
|         | Z2     | 0.22             | 0.35   | 48   | 44     | 0.50         | 0.60   |
|         | Z3     | 0.65             | 0.68   | 41   | 39     | 0.83         | 0.82   |
|         | Z4     | 0.44             | 0.60   | 48   | 41     | 0.77         | 0.79   |
| FEBRERO | Z1     | 0.19             | 0.20   | 43   | 43     | 0.55         | 0.53   |
|         | Z2     | -0.30            | 0.40   | 46   | 31     | 0.37         | 0.63   |
|         | Z3     | 0.66             | 0.75   | 41   | 35     | 0.81         | 0.87   |
|         | Z4     | 0.69             | 0.75   | 36   | 32     | 0.84         | 0.87   |
| MARZO   | Z1     | 0.47             | 0.46   | 35   | 35     | 0.70         | 0.69   |
|         | Z2     | 0.39             | 0.36   | 33   | 34     | 0.63         | 0.60   |
|         | Z3     | 0.52             | 0.60   | 38   | 34     | 0.72         | 0.78   |
|         | Z4     | 0.47             | 0.58   | 38   | 34     | 0.72         | 0.81   |
| ABRIL   | Z1     | 0.33             | 0.37   | 24   | 23     | 0.58         | 0.61   |
|         | Z2     | 0.25             | 0.39   | 22   | 20     | 0.52         | 0.64   |
|         | Z3     | 0.51             | 0.52   | 19   | 18     | 0.72         | 0.72   |
|         | Z4     | 0.41             | 0.61   | 24   | 19     | 0.66         | 0.80   |
| MAYO    | Z1     | 0.38             | 0.22   | 6    | 7      | 0.63         | 0.48   |
|         | Z2     | 0.06             | 0.43   | 8    | 6      | 0.36         | 0.68   |
|         | Z3     | 0.31             | 0.19   | 3    | 3      | 0.57         | 0.45   |
|         | Z4     | 0.33             | 0.32   | 7    | 7      | 0.58         | 0.60   |

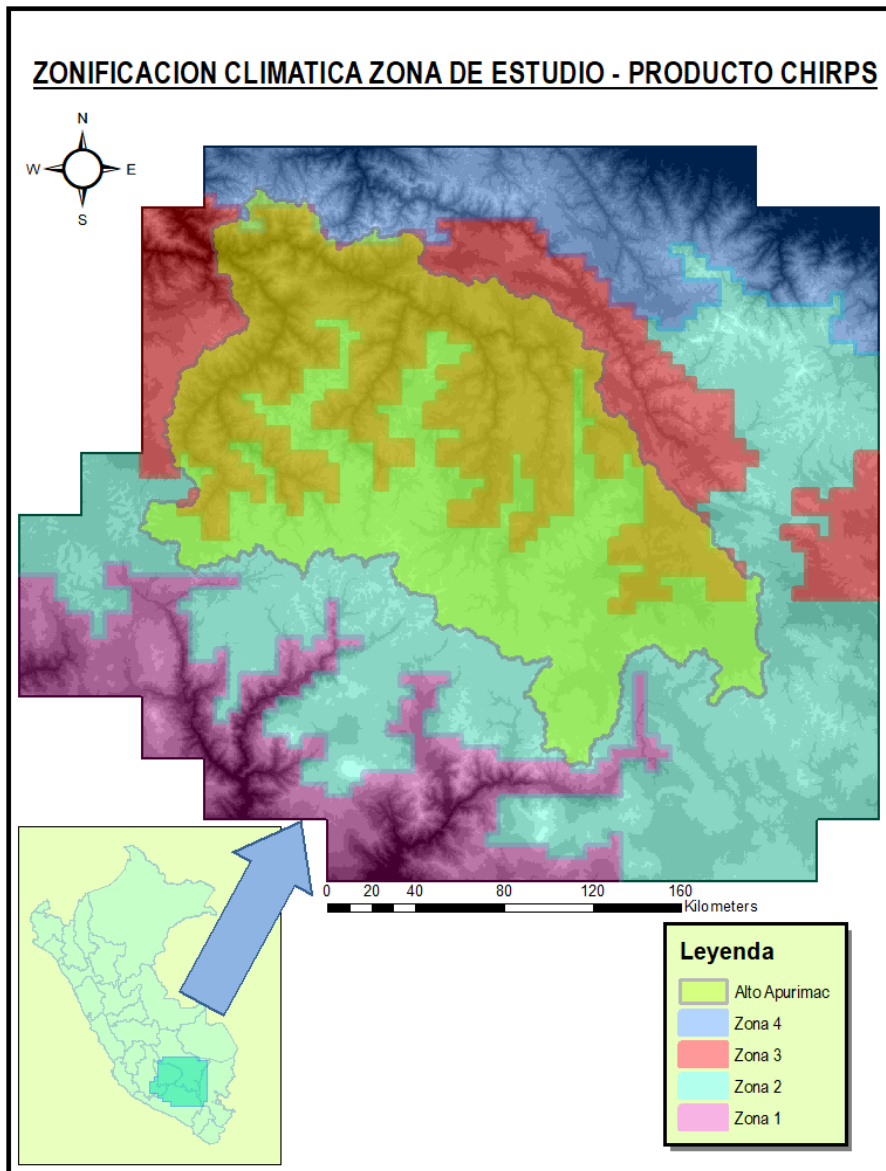
«continuación»

|            |    |       |       |    |    |      |      |
|------------|----|-------|-------|----|----|------|------|
| JUNIO      | Z1 | 0.17  | 0.18  | 3  | 3  | 0.41 | 0.49 |
|            | Z2 | 0.00  | 0.17  | 7  | 6  | 0.17 | 0.45 |
|            | Z3 | -0.30 | 0.14  | 10 | 8  | 0.12 | 0.38 |
|            | Z4 | 0.07  | 0.15  | 4  | 3  | 0.31 | 0.41 |
| JULIO      | Z1 | 0.39  | 0.30  | 5  | 6  | 0.63 | 0.57 |
|            | Z2 | 0.24  | 0.43  | 9  | 8  | 0.49 | 0.71 |
|            | Z3 | -0.92 | 0.16  | 28 | 19 | 0.20 | 0.41 |
|            | Z4 | 0.34  | 0.02  | 6  | 8  | 0.60 | 0.28 |
| AGOSTO     | Z1 | 0.26  | 0.24  | 6  | 6  | 0.54 | 0.49 |
|            | Z2 | -0.14 | -0.09 | 10 | 10 | 0.23 | 0.33 |
|            | Z3 | 0.07  | 0.18  | 16 | 15 | 0.29 | 0.43 |
|            | Z4 | 0.33  | 0.24  | 5  | 5  | 0.64 | 0.50 |
| SEPTIEMBRE | Z1 | 0.22  | -0.02 | 13 | 15 | 0.50 | 0.36 |
|            | Z2 | 0.10  | 0.14  | 11 | 11 | 0.36 | 0.37 |
|            | Z3 | 0.11  | 0.22  | 15 | 14 | 0.37 | 0.49 |
|            | Z4 | 0.32  | 0.39  | 10 | 9  | 0.57 | 0.69 |
| OCTUBRE    | Z1 | 0.08  | 0.15  | 30 | 29 | 0.48 | 0.49 |
|            | Z2 | 0.23  | 0.49  | 24 | 19 | 0.52 | 0.70 |
|            | Z3 | 0.46  | 0.43  | 10 | 11 | 0.68 | 0.66 |
|            | Z4 | 0.58  | 0.61  | 17 | 16 | 0.76 | 0.79 |
| NOVIEMBRE  | Z1 | 0.31  | 0.38  | 33 | 31 | 0.57 | 0.64 |
|            | Z2 | -0.09 | -0.10 | 40 | 40 | 0.22 | 0.30 |
|            | Z3 | 0.43  | 0.32  | 13 | 14 | 0.66 | 0.57 |
|            | Z4 | 0.57  | 0.79  | 21 | 14 | 0.76 | 0.90 |
| DICIEMBRE  | Z1 | 0.23  | 0.30  | 40 | 38 | 0.59 | 0.63 |
|            | Z2 | 0.16  | 0.23  | 35 | 34 | 0.57 | 0.57 |
|            | Z3 | 0.67  | 0.75  | 26 | 23 | 0.83 | 0.87 |
|            | Z4 | 0.39  | 0.37  | 37 | 37 | 0.66 | 0.73 |

#### 4.6. Análisis espacial

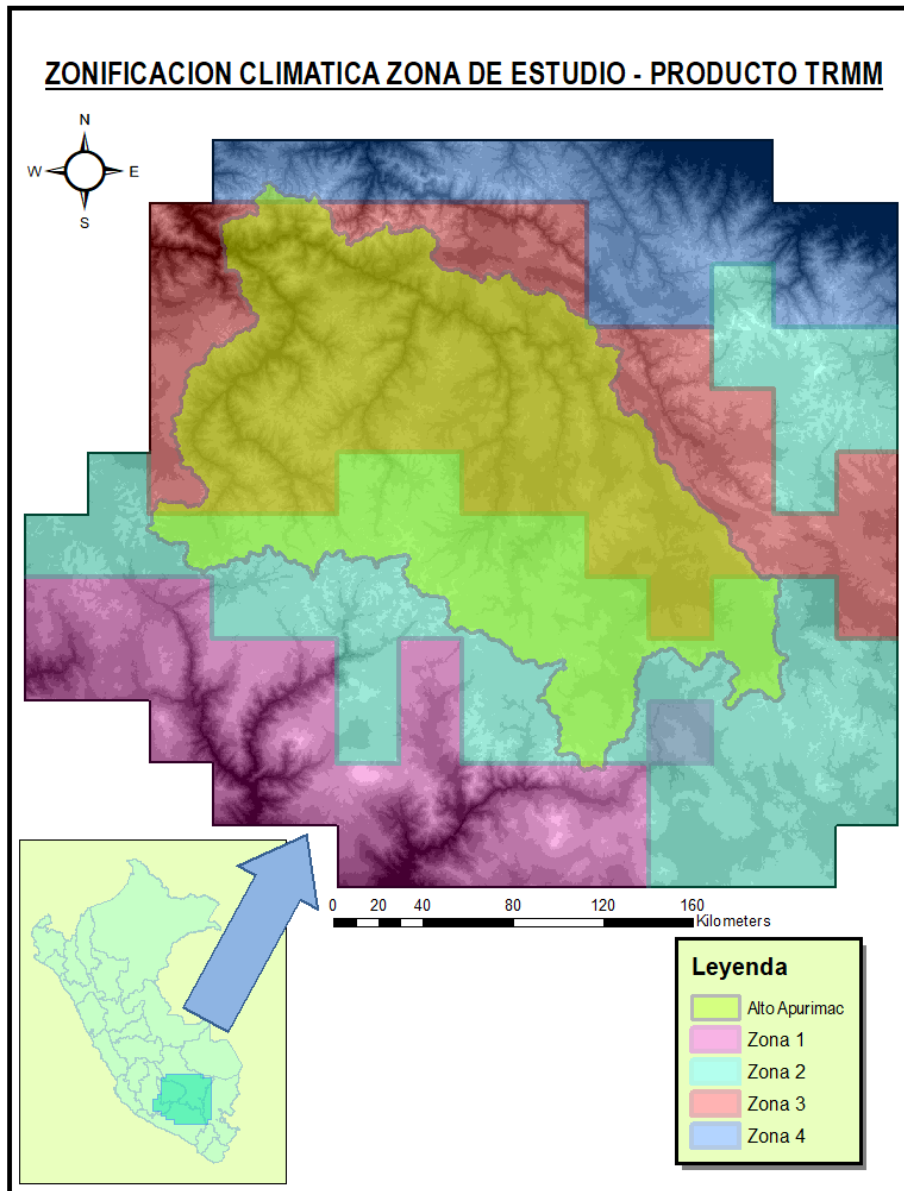
A fin de conocer el desempeño del modelo de corrección se determinaron las zonas de influencia para cada producto, a fin de poder aplicar un factor de corrección zonal obtenido mediante la aplicación del modelo multiplicativo.

La Figura 24 muestra la distribución de la zonificación producto de la regionalización para el producto CHIRPS para el tamaño de grilla  $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$  sobre la zona de influencia de las estaciones en análisis utilizadas para la validación de información para la Intercuenca Alto Apurímac.



**Figura 24: Zonificación climática para el producto CHIRPS**

La Figura 25 muestra la distribución de la zonificación producto de la regionalización para el producto TRMM para el tamaño de grilla  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  sobre la zona de influencia de las estaciones en análisis utilizadas para la validación de información para la Intercuenca Alto Apurímac.

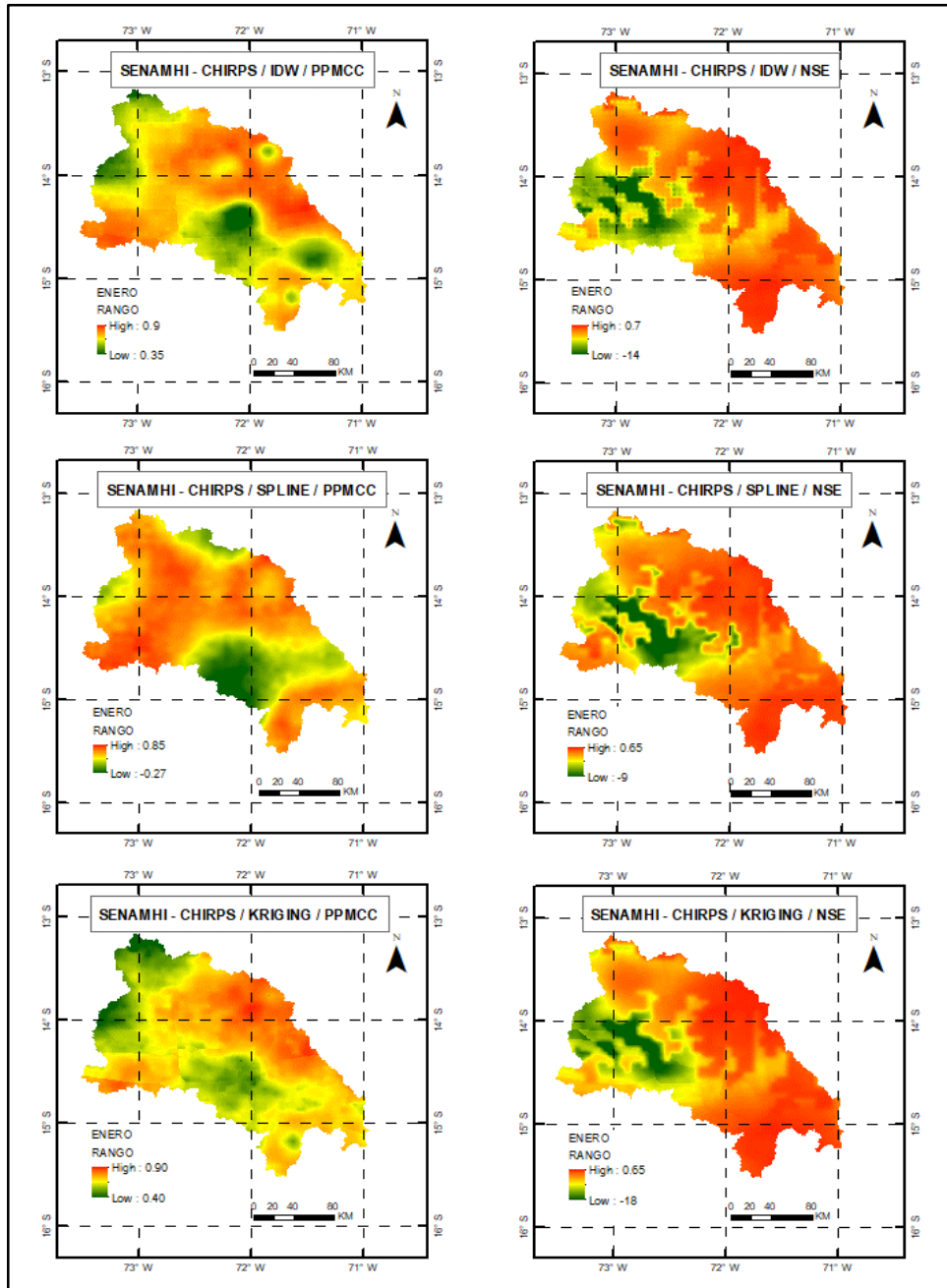


**Figura 25: Zonificación climática para el producto TRMM**

La zona 1 y 4 para la zonificación de los dos productos coinciden en que no existe superposición sobre la Intercuenca Alto Apurimac, sin embargo, se aprecia en las Figuras 23 y 24 que la configuración de las grillas difiere para ambos productos debido al tamaño de grilla.

La Figura 26 presenta los resultados de la aplicación del coeficiente de correlación de Pearson (PPMCC) y el índice de eficiencia de Nash (NSE) para el producto CHIRPS e información del SENAMHI en el mes de enero para el periodo de 1998 - 2016, los cuales se calcularon a partir de los mapas de precipitación mensual mediante los métodos de

interpolación Spline, IDW y Kriging, realizados a partir de la corrección de la información mensual del producto CHIRPS aplicando los factores de corrección según el mapa de zonificación que se aprecia en la Figura 23.



**Figura 26: Mapas de validación de resultados**

Respecto al producto CHIRPS en el mes de enero, se aprecia que para la zona norte los métodos IDW y SPLINE exista una alta relación lineal positiva, sin embargo, el método de interpolación Spline en dicha zona presenta una relación lineal negativa entre las variables.

Respecto a la eficiencia en la detección (NSE) se observa que existe coincidencia para los tres métodos de interpolación en la zona NO de la cuenca, en donde se obtienen valores negativos para el NSE, por lo que para dicha zona el promedio sería un mejor predictor, asimismo en el resto de la cuenta se aprecia que existe una buena eficiencia en la detección por parte del producto CHIRPS.

Para el producto TRMM en el mes de enero, el PPMCC para los métodos IDW y KRIGING presenta una relación lineal positiva similar en ambos casos, sin embargo, el PPMCC resultado del método de interpolación SPLINE presenta una relación lineal negativa la parte SO de la cuenca. El NSE presenta un comportamiento similar para los tres métodos de interpolación, presentando un ajuste bueno en gran parte de la cuenca, excepto en la zona oeste, donde presenta valores negativos.

El mes de febrero para el análisis del producto CHIRPS producto de la interpolación por los métodos IDW y KRIGING, el PPMCC presenta una alta relación línea en la franja límite del SO de la cuenca, asimismo el NSE presenta un comportamiento similar para dichos métodos de interpolación, algo distinto al método de interpolación generado por el método SPLINE, debido a que este genera un franja con una relación lineal negativa y una deficiente estimación de la precipitación por parte del producto CHIRPS.

Para el producto TRMM en el mes de febrero, el PPMCC para los métodos IDW y KRIGING presenta una alta relación lineal en la parte sur de la cuenca con un coeficiente de correlación alrededor de 0.90, respecto al NSE se aprecia una buena y excelente eficiencia en el desempeño del producto TRMM, excepto en la parte SO de la cuenca, en donde se obtiene un NSE negativo.

El producto CHIRPS en el mes de marzo, el PPMCC presenta un mejor comportamiento respecto a la relación lineal que se presenta para los métodos IDW y KRIGING, presentando una alta relación lineal positiva, para el método SPLINE se presenta una alta relación positiva y también una relación negativa entre la información observada y estimada, respecto al NSE para el método IDW y KRIGING se presenta una baja eficiencia en la estimación en la zona oeste de la cuenca, sin embargo el resto de la cuenca presenta un muy buen ajuste



entre las variables.

El producto TRMM para el mes de marzo, el PPMCC presenta una relación lineal positiva para los tres métodos, coincidiendo en la zona oeste y SE de la cuenca donde existe la más baja relación entre la información observada y estimada, respecto al NSE los tres métodos coinciden en presentar una mala eficiencia en el desempeño del modelo aplicado para la corrección de datos en la misma zona que los meses enero y febrero, sin embargo, alcanza picos de hasta 0.75 en los tres métodos de comparación.

El producto CHIRPS en el mes de abril, el PPMCC presenta un mejor comportamiento para el método KRIGING, presentando un coeficiente de correlación lineal que oscila entre 0.30 – 0.86, asimismo se aprecia que para los métodos IDW y KRIGING, que la menor relación lineal entre las variables se presenta en la parte media de la cuenca, respecto al NSE la parte baja de la cuenca es donde hay una coincidencia de una muy buena eficiencia del modelo, finalmente la parte NO de la cuenca presenta una baja eficiencia en la estimación por parte del modelo.

Para el producto TRMM en el mes de abril, el PPMCC presenta una mejor relación lineal en la parte SE de la cuenca, comportamiento que coincide para los tres métodos, respecto al NSE existe una baja eficiencia en la zona centro-oeste de la cuenca, por lo que el modelo de corrección utilizado se podría considerar pobre para dichas regiones, asimismo en la parte norte de la cuenca para los tres métodos se evidencia una zona de inflexión con una baja eficiencia respecto al NSE, la cual no se presentaba en los meses anteriores del método en análisis.

Para el producto CHIRPS en el mes de mayo, el PPMCC para los métodos IDW y KRIGING presenta la mayor relación lineal en la zona sureste de la cuenca, el método SPLINE a diferencia de los otros dos métodos de interpolación presenta una relación lineal negativa en la zona norte de la cuenca, respecto al NSE se observa una baja eficiencia en la zona oeste de la cuenca, en la cual coinciden los tres métodos, asimismo se podría considerar la eficiencia del modelo predictivo como buena, en la mayor parte de la cuenca.

El producto TRMM en el mes de mayo, el PPMCC presenta una correlación lineal negativa en la parte sur de la cuenca, la cual coincide para los tres métodos de interpolación, sin embargo, existe una similitud entre los métodos IDW y KRIGING, el NSE presenta un desempeño bueno en gran parte de la cuenca, presentando similitud en gran parte de la cuenca.

El producto CHIRPS en el mes de junio para los métodos de interpolación IDW y KRIGING presenta una similitud en la distribución de la correlación lineal positiva para ambos casos, algo muy distinto con el método de interpolación SPLINE, sin embargo, para los tres métodos de interpolación existe una correlación lineal negativa, el NSE presenta una insuficiente capacidad en la estimación del modelo, la cual se hace más significativa en la parte norte y oeste de la cuenca.

El producto TRMM para el mes de junio, presenta una correlación lineal negativa marcada en la parte sur de la cuenca para los tres métodos de interpolación, asimismo el NSE presenta una mala eficiencia en el desempeño del modelo en toda la cuenca.

El producto CHIRPS para el mes de julio para el método de interpolación IDW, presenta una correlación lineal positiva en toda la cuenca, la que se encuentra en un rango de 0 – 0.98, algo distinto al método de interpolación SPLINE, el cual presenta una correlación negativa no uniforme, la cual se asemeja al método de interpolación KRIGING, respecto al NSE presenta similitud entre los tres métodos de interpolación, el cual en gran parte de la cuenta presenta una buena eficiencia por parte del modelo de estimación, asimismo existe similitud en la zona central de la cuenca, en donde la eficiencia en la detección es mala.

El producto TRMM en el mes de julio, el método de interpolación KRIGING presenta una mejor correlación lineal y eficiencia en la corrección de datos por parte del modelo en comparación con los demás métodos de interpolación.

El producto CHIRPS en el mes de agosto presenta una correlación lineal positiva dentro de toda la cuenca para el método de interpolación IDW y KRIGING encontrando su mejor relación línea entre la zona central de la cuenca, asimismo el NSE nos indica una insuficiente

eficiencia en la estimación por parte del producto TRMM en la parte norte y oeste, lo cual coincide para los métodos de interpolación IDW y KRIGING.

El producto TRMM en el mes de agosto, se aprecia un comportamiento similar al del producto CHIRPS corregido en el mismo periodo, presentándose una mejor correlación lineal positiva dentro de toda la cuenca para el método de interpolación KRIGING, la cual se encuentra en un rango de 0.25 – 0.80, haciéndose más significativa en la franja central de la cuenca, respecto al NSE se evidencia una buena eficiencia por parte del modelo en toda la región de la cuenca, con excepción de la parte norte y oeste.

Para el mes de setiembre, el producto CHIRPS presenta una mejor correlación lineal positiva para la interpolación mediante el método KRIGING, seguida del método IDW, asimismo dicha correlación llega a tener un coeficiente de 0.90 en la zona noreste de la cuenca, el NSE por su parte nos indica una eficiencia categorizada como muy buena en casi la totalidad de la cuenca, excepto en la parte norte, en donde dicha eficiencia se hace insuficiente, llegando a tomar un NSE negativo.

El producto TRMM en el mes de setiembre presenta una correlación lineal positiva para el método IDW con un rango entre 0.15 – 0.86, el desempeño del modelo multiplicativo en dicho mes llega a ser muy bueno en gran parte de la cuenca, excepto en los extremos norte y oeste, en donde dicho desempeño es insuficiente, lo cual coincide con el método de interpolación IDW y KRIGING.

El producto CHIRPS en el mes de octubre presenta una correlación lineal positiva para los tres métodos de interpolación, lo cual no sucede en los meses precedentes, el NSE llega a alcanzar una eficiencia muy buena en la parte sur de la cuenca y buena en el resto, excepto en la parte noroeste de la cuenca, donde su ajuste es insuficiente.

El producto TRMM en el mes de octubre para los métodos de interpolación IDW y KRIGING presenta una correlación lineal positiva, siendo menos significativa en la región noroeste de la cuenca, respecto al NSE tres métodos de interpolación presentan un buen desempeño del modelo, siendo este insuficiente en la zona norte y oeste de la cuenca.

El producto CHIRPS en el mes de noviembre presenta una correlación lineal positiva solo para el método IDW, el NSE presenta un mejor desempeño para el producto CHIRPS en la zona este y sur de la cuenca, la cual coincide para los tres métodos de interpolación, la cual se podría considerar como muy buena.

El producto TRMM en el mes de noviembre presenta una correlación lineal positiva para los tres métodos de interpolación, sin embargo, dicho análisis es más significativo para el método IDW, respecto al NSE se presenta un desempeño insuficiente por parte del modelo en la zona oeste de la cuenca, un comportamiento que se replica para los tres métodos de interpolación, en el resto de la cuenca el desempeño llega ser en algunos casos muy bueno. El producto CHIRPS para el mes de diciembre presenta una mejor correlación lineal positiva para el método de interpolación IDW con un rango entre 0.15 – 0.95, seguido del método - KRIGING, respecto al NSE se presentan 3 zonas comunes (Oeste, Sureste y Norte) con un índice negativo, haciendo que el desempeño del modelo de corrección para dichos métodos de interpolación sea insuficiente.

El producto TRMM en el mes de diciembre para el método de interpolación IDW y KRIGING presenta una correlación lineal positiva, sin embargo, dicha correlación no es semejante entre ambos métodos, respecto al NSE existe similitud entre los métodos IDW y KRIGING, presentando un desempeño insuficiente en la zona oeste y sureste de la cuenca. La precipitación areal de la cuenca (Ver Anexo 5), muestra que las mayores precipitaciones se encuentran dentro de la zona noreste de la cuenca en estudio (Zona 3), asimismo, los menores valores de la precipitación promedio total anual se encuentran en la zona oeste de la cuenca (Zona 2), siendo la zona próxima al pacífico.

## V. CONCLUSIONES

- Los productos TRMM y CHIRPS fueron validados para la totalidad de estaciones pluviométricas, presentando una sobreestimación en comparación con los datos de lluvia del SENAMHI, asimismo, se determinó que la probabilidad de detección de eventos fue del 100%.
- A nivel regional; para el periodo SON el producto CHIRPS corregido presenta una mejor correlación y una eficiencia en la detección entre buena y muy buena en comparación con el producto TRMM, excepto en las provincias de las regiones de Ayacucho y Cusco pertenecientes a la Zona 3, donde esta presenta un mejor desempeño del modelo en comparación del producto CHIRPS corregido. Para el periodo DEF el producto CHIRPS corregido presenta un mejor comportamiento para las Zonas 3 y 4, sin embargo, en la zona 1 y 2, ubicadas en los departamentos de Arequipa y Puno el desempeño del modelo no es óptimo en comparación con las otras zonas. Para el periodo MAM, las dos fuentes de información presentan un buen comportamiento, siendo el desempeño del producto CHIRPS corregido, superior al producto TRMM corregido. Finalmente, en el periodo JJA ambos productos presentan una baja correlación en comparación con los demás periodos.
- A nivel punto – grilla, existe una mejor correlación y un desempeño del modelo entre bueno y excelente por parte del producto CHIRPS corregido, resaltando las estaciones de la Zona 3, sin embargo, las diferencias no son tan significativas en comparación del producto TRMM corregido, por lo que para un análisis a nivel punto – grilla la aplicación del modelo multiplicativo brindan resultados confiables para los productos TRMM y CHIRPS, haciendo posible el uso de dicho modelo para completar series de tiempo no continuas, teniendo una mejor eficiencia en las estaciones Chilcayoc y Colquepata con pronósticos óptimos.
- Para la zona de estudio, la correlación espacial de la información observada del SENAMHI, y la información de precipitación estimada del producto TRMM y CHIRPS corregido para un análisis a nivel punto – grilla presenta un mejor desempeño del modelo multiplicativo y correlación en comparación del análisis a nivel estacional

- regional y a escala mensual – regional, siendo este último el que presenta una menor correlación y una menor eficiencia en el desempeño en el modelo de predicción.
- El método de interpolación IDW presenta una mejor correlación lineal positiva en la mayoría de meses para la zona de estudio, seguido del método Kriging, el método de interpolación Spline para casi la totalidad de meses presenta zonas con una correlación lineal negativa, lo cual hace que el método de interpolación Spline, no sea recomendable en la zona en estudio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Plantear nuevos criterios de regionalización, a fin de que las regiones existentes sean más segregadas y tener una mayor cantidad de variabilidad dentro de la cuenca.
- Se recomienda realizar como método de interpolación un análisis de componentes principales, a fin de realizar un método de análisis más robusto incluyendo variables como temperatura, altitud, longitud, entre otros.
- Aplicar el modelo de corrección a fin de completar series con datos faltantes de años previos o posteriores dentro de la zona de estudio.
- Plantear la metodología propuesta a nuevas regiones donde la densidad de estaciones meteorológicas y la continuidad temporal sea escasa.
- La metodología y resultados obtenidos pueden ser utilizados por el Gobierno Regional de Arequipa o por los gobiernos provinciales y distritales, a fin de mejorar los estudios hidrológicos básicos con fines de aprovechamiento hídrico.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Beck, H., Van Dijk, A., Miralles, D., McVicar, T., Schellekens, J., & Adrian, B. (2010). Global-scale regionalization of hydrologic model parameters. *Water Resources Research*, (52), 3599-3622. <https://doi.org/10.1002/2015WR018247>. Received
- Cabrero Ortega, Y., & García Pérez, A. (2015). *Análisis estadístico de datos espaciales con QGIS y R*. Madrid.
- Duque Martinez, J. S. (2015). *Comparación Estadística de Métodos Interpolación Determinísticos y Estocásticos para la generación de Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LIDAR, en la parroquia de Tumbabiro, cantón San Miguel de Urcuquí, provincia de Imbabura*. Universidad San Francisco de Quito.
- Emery, X. (Facultad de C. F. y M. U. de C. (2007). *Apunte de Geoestadística*. Chile.
- Esparza Esquivel, A., Eslava Briones, D., Glores Galvez, H., Lucho Mendocilla, E., Sánchez Anacleto, L., & López Gariza, H. (2016). *Geoestadística* (Trujillo).
- Espinoza, J. C. (2005). *El Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos*. (1), 9. Recuperado de <https://ff148839-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/jhancarloespinoza/sitios-de-interes/ElMétododelVectorRegionaldeíndicespluviométricos.pdf?attachauth=ANoY7crgl7pYgZjDvGvvN4v7pdNqF2rhJGEO7ZwYKQZGLPWkAQRwhhJivheOeuYtNYIUxeKIwJ4Si0vPdLDk7Bw7HL1fkPuk>
- Fernandez Palomino, C. A. (SENAMHI). (2015). *Generación de base de datos de precipitación mensual grillada de alta resolución a nivel nacional 1981 - 2013*. Recuperado de <https://senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-67.pdf>



- Giraldo, R. (2002). *Introducción a la geoestadística: Teoría y aplicación*. Bogotá.
- Guevara Pérez, E. (2015). *Métodos para el análisis de variables climatológicas y ambientales* (Primera Edición ed.). Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- León, K. (2014). *Análisis Espacio-Temporal De Las Precipitaciones Y Caudales Durante Los Eventos El Niño (1982-83 Y 1997-98) En La Costa Norte Peruana*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- López, F., Valiente, P., Moral, F. J., & Pinilla, E. (2008). Elaboración de Mapas de Ozono que Registran la Evolución de este Contaminante Utilizando Técnicas Geoestadísticas. *12th International Conference on Project Engineering, Zaragoza*, 1092-1099. Recuperado de [http://aeipro.com/files/congresos/2008zaragoza/ciip08\\_1092\\_1099.649.pdf](http://aeipro.com/files/congresos/2008zaragoza/ciip08_1092_1099.649.pdf)
- Manteca Martínez, J. I. (1993). *De la modelación del yacimiento a la producción mineral diaria* (Universidad Complutense de Madrid). Recuperado de <https://eprints.ucm.es/3095/1/T18383.pdf>
- Matheron, G. (1969). *Curso de Geoestadística*. Recuperado de [http://www.cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/MATHERON\\_Ouvrage\\_00536.pdf](http://www.cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/MATHERON_Ouvrage_00536.pdf)
- Mejía Marcacuzco, J. A. (2012). *Hidrología Aplicada* (Primera ed.). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Méndez Venegas, J. (2008). *Modelación de la distribución espacial de la precipitación en el valle de la Ciudad de México usando técnicas geoestadísticas* (Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas). Recuperado de [http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/256/Sanchez\\_Borja\\_M\\_DC\\_Fitosanidad\\_2010.pdf?sequence=1](http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/256/Sanchez_Borja_M_DC_Fitosanidad_2010.pdf?sequence=1)
- Muñoz, F. (2012). *Geoestadística en regiones heterogéneas con distancia basada en el coste*.

- NASA. (2007). Tropical Rainfall Measuring Mission (Trmm). En *EASCON Record: IEEE Electronics and Aerospace Systems Convention*.
- Nicolas Funes, H. (2004). *Metodos estadisticos en problemas espaciales hector nicolas funes.pdf*. Universidad Nacional de Tucuman.
- Paredes Hernández, C. U., Salinas Castillo, W. E., Becerra, X. M., & Jiménez Hernández, S. B. (2013). Evaluation and comparison of deterministic and probabilistic interpolation methods for digital elevation model generation. *Investigaciones Geograficas*, 82(82), 118-130. <https://doi.org/10.14350/rig.35906>
- Pérez Paredes, E. J. (2010). Metodología de modelamiento de variogramas como temas de aplicación de la geoestadística a la ingeniería geológica. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/110%0Ahttp://tesis.unsm.edu.pe/jspui/bitstream/11458/1025/1/Richard Hidalgo Mozombite\\_Rafael Pacheco Gonzaga.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/110%0Ahttp://tesis.unsm.edu.pe/jspui/bitstream/11458/1025/1/Richard%20Hidalgo%20Mozombite_Rafael%20Pacheco%20Gonzaga.pdf)
- Ramos Fernández, L. (2013). *Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satelite en la modelación hidrológica distribuida*. (Universidad Politecnica de Valencia). Recuperado de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27548/Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida 5598\\_5599.pdf?sequence=11](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27548/Estudio%20de%20la%20utilidad%20de%20la%20lluvia%20estimada%20de%20sat%C3%A9lite%20en%20la%20modelaci%C3%B3n%20hidrol%C3%B3gica%20distribuida%205598_5599.pdf?sequence=11)
- Rau Lavado, P. C. (2009). *Análisis espacio temporal de la precipitación y temperatura en las principales zonas de montaña del Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Rojas Suárez, C. A. (2011). Modelamiento geoestadístico de los depósitos fluviales de la zona c-formación mugrosa en el área la Cira-Este del Campo La Cira. *Universidad Nacional de Colombia*, 127. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7881>
- Salgado Montesinos, M. (2012). *Análisis de la gobernanza del recurso hídrico en la cuenca alta del río Apurímac , Perú*. Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza.

- Segura Davila, J. (2012). *Geoestadística para la enseñanza universitaria*. Tacna: Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas
- SENAMHI. (2016). Vulnerabilidad Climática De Los Recursos Hídricos En Las Cuencas De Los Ríos Chillón, Rímac, Lurín Y Parte Alta Del Mantaro / Resumen Ejecutivo. En Ediciones SENAMHI (Ed.), *SENAMHI*. Lima, Perú.
- Sobrino, J. A. (2000). *Teledetección* (U. de V. Servicio de Publicaciones, Ed.). Valencia (España).
- Urrea, V., Ochoa, A., & Mesa, O. (2016). *CHIRPS para Colombia a escala diaria , mensual y anual en el período ...* (November). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/310844678\\_Validacion\\_de\\_la\\_base\\_de\\_datos\\_de\\_precipitacion\\_CHIRPS\\_para\\_Colombia\\_a\\_escala\\_diaria\\_mensual\\_y\\_anual\\_en\\_el\\_periodo\\_1981-2014](https://www.researchgate.net/publication/310844678_Validacion_de_la_base_de_datos_de_precipitacion_CHIRPS_para_Colombia_a_escala_diaria_mensual_y_anual_en_el_periodo_1981-2014)
- Yupanqui Velez, R. T. (SENAMHI). (2015). Validación de datos CHIRPS de precipitación para monitoreo de periodos secos y húmedos del Perú. *SENAMHI*, 34. Recuperado de [http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA\\_PUBLICAR/SENAMHI/Validacion de datos CHIRPS de Precipitacion para Monitoreo de Periodos Secos y Humedos en el Perú.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA_PUBLICAR/SENAMHI/Validacion_de_datos_CHIRPS_de_Precipitacion_para_Monitoreo_de_Periodos_Secos_y_Humedos_en_el_Peru.pdf)

## **VIII. ANEXOS**

## Anexo 1: Información histórica de las precipitaciones total mensual

**Tabla 12: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Acomayo**

| Estación        | :     | <b>ACOMAYO</b> | Latitud  | :    | 13°55'1" S | Región     | :          | Cusco   |       |       |             |       |
|-----------------|-------|----------------|----------|------|------------|------------|------------|---------|-------|-------|-------------|-------|
| Tipo            | :     | CO-687         | Longitud | :    | 71°41'1" W | Provincia  | :          | Acomayo |       |       |             |       |
|                 |       |                | Altitud  | :    | 3,250 msnm | Distrito   | :          | Acomayo |       |       |             |       |
| AÑO             | ENE   | FEB            | MAR      | ABR  | MAY        | JUN        | JUL        | AGO     | SET   | OCT   | NOV         | DIC   |
| 1,998           | 188.6 | 174.3          | 119.7    | 30.0 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     | 0.0   | 61.5  | 98.8        | 134.3 |
| 1,999           | 148.7 | 115.1          | 132.7    | 98.2 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     | 0.0   | 46.5  | 27.5        | 192.1 |
| 2,000           | 125.9 | 206.4          | 90.7     | 39.0 | 7.3        | 8.7        | 4.5        | 19.8    | 21.4  | 107.2 | 16.7        | 176.4 |
| 2,001           | 248.4 | 153.8          | 179.3    | 44.2 | 15.1       | 3.4        | 10.9       | 15.7    | 18.1  | 39.0  | 93.8        | 126.9 |
| 2,002           | 192.6 | 247.3          | 238.9    | 62.8 | 18.1       | 1.1        | 19.8       | 7.5     | 22.9  | 49.2  | 105.5       | 121.9 |
| 2,003           | 197.8 | 172.9          | 127.5    | 54.4 | 13.0       | 10.1       | 0.0        | 3.8     | 3.1   | 42.1  | 68.8        | 142.7 |
| 2,004           | 250.1 | 179.1          | 87.8     | 63.6 | 16.9       | 12.9       | 10.6       | 36.5    | 56.5  | 57.5  | 85.2        | 182.6 |
| 2,005           | 125.7 | 148.4          | 95.4     | 48.8 | 4.3        | 0.0        | 0.0        | 2.9     | 0.0   | 61.9  | 82.2        | 93.1  |
| 2,006           | 162.2 | 133.7          | 149.9    | 98.8 | 0.0        | 12.4       | 0.0        | 5.3     | 1.9   | 58.4  | 133.8       | 133.5 |
| 2,007           | 197.3 | 163.6          | 178.7    | 92.5 | 1.0        | 0.0        | 5.5        | 0.0     | 2.9   | 51.2  | 96.6        | 88.9  |
| 2,008           | 147.4 | 213.9          | 76.7     | 41.9 | 20.0       | 7.7        | 0.0        | 0.0     | 11.5  | 73.1  | 46.2        | 145.9 |
| 2,009           | 122.5 | 125.5          | 100.0    | 76.8 | 8.2        | 0.0        | 8.9        | 0.0     | 4.5   | 20.6  | 199.6       | 144.7 |
| 2,010           |       |                |          |      |            |            |            |         |       |       |             |       |
| 2,011           |       |                |          |      |            |            |            |         |       |       |             |       |
| 2,012           | 172.3 | 219.6          | 116.2    | 50.7 | 3.5        | 13.1       | 0.0        | 0.0     | 28.0  | 25.7  | 107.5       | 179.0 |
| 2,013           | 158.6 | 146.2          | 76.9     | 42.4 | <b>7.2</b> | <b>4.0</b> | <b>4.4</b> | 15.5    | 18.9  | 72.1  | 75.3        | 135.3 |
| 2,014           | 84.7  | 91.1           | 118.4    | 19.9 | 12.5       | 0.0        | 5.4        | 8.6     | 15.7  | 30.3  | 32.4        | 130.1 |
| 2,015           | 179.1 | 131.7          | 131.1    | 83.2 | 0.5        | 1.7        | 12.2       | 5.0     | 8.8   | 13.5  | 24.7        | 149.5 |
| 2,016           | 61.1  | 90.8           | 31.9     | 26.1 | 0.3        | 0.3        | 2.4        | 0.7     | 6.9   | 77.4  | <b>39.2</b> | 71.4  |
| Nº Datos        | 17    | 17             | 17       | 17   | 17         | 17         | 17         | 17      | 17    | 17    | 17          | 17    |
| Media           | 162.5 | 159.6          | 120.7    | 57.3 | 7.5        | 4.4        | 5.0        | 7.1     | 13.0  | 52.2  | 78.5        | 138.1 |
| Desv. Estándar  | 50.3  | 44.4           | 47.9     | 25.0 | 7.1        | 5.2        | 5.8        | 9.8     | 14.4  | 23.4  | 46.4        | 33.2  |
| Coef. Variación | 31.0  | 27.8           | 39.7     | 43.6 | 94.5       | 116.4      | 116.2      | 138.0   | 110.6 | 44.8  | 59.2        | 24.1  |
| Prec. Max.      | 250.1 | 247.3          | 238.9    | 98.8 | 20.0       | 13.1       | 19.8       | 36.5    | 56.5  | 107.2 | 199.6       | 192.1 |
| Prec. Min.      | 61.1  | 90.8           | 31.9     | 19.9 | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0     | 0.0   | 13.5  | 16.7        | 71.4  |

**Tabla 13: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Caylloma**

|                 |            |                 |            |            |            |            |            |            |            |             |            |             |
|-----------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Estación        | :          | <b>CAYLLOMA</b> | Latitud    | :          | 15° 11'    | S          | Región     | :          | Arequipa   |             |            |             |
| Tipo            | :          | PLU             | Longitud   | :          | 71° 46'    | W          | Provincia  | :          | Caylloma   |             |            |             |
|                 |            |                 | Altitud    | :          | 4,320      | msnm       | Distrito   | :          | Caylloma   |             |            |             |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>      | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b>  | <b>NOV</b> | <b>DIC</b>  |
| 1,998           | 225.3      | 120.0           | 93.5       | 13.4       | 0.0        | 1.1        | 0.0        | 6.8        | 0.0        | 2.2         | 35.8       | 111.7       |
| 1,999           | 169.7      | 289.8           | 174.8      | 57.6       | 8.3        | 17.6       | 0.0        | 2.1        | 36.8       | 54.9        | 10.4       | 97.2        |
| 2,000           | 247.7      | 216.9           | 167.2      | 22.2       | 15.7       | 2.6        | 0.8        | 13.4       | 7.7        | 69.2        | 33.6       | 125.9       |
| 2,001           | 306.9      | 300.6           | 193.0      | 71.7       | 13.2       | 1.9        | 11.6       | 9.5        | 14.7       | 17.9        | 8.3        | 39.4        |
| 2,002           | 105.8      | 219.8           | 132.6      | 88.4       | 10.9       | 3.4        | 20.2       | 0.0        | 14.8       | 85.5        | 90.5       | 124.0       |
| 2,003           | 137.1      | 133.5           | 183.3      | 32.9       | 1.5        | 3.6        | 0.4        | 1.0        | 12.4       | 11.2        | 41.0       | 119.6       |
| 2,004           | 197.8      | 187.1           | 91.5       | 50.3       | 0.0        | 1.1        | 22.5       | 12.4       | 6.3        | 8.9         | 6.8        | 59.9        |
| 2,005           | 111.8      | 143.8           | 114.7      | 47.5       | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 1.5        | 8.9        | 18.1        | 25.1       | 171.0       |
| 2,006           | 240.4      | 206.1           | 265.5      | 46.4       | 2.2        | 0.2        | 2.4        | 1.6        | 15.8       | 34.8        | 81.6       | 76.0        |
| 2,007           | 161.1      | 145.1           | 158.2      | 30.5       | 7.8        | 0.0        | 1.6        | 0.0        | 9.2        | <b>24.0</b> | 81.8       | <b>98.2</b> |
| 2,008           | 196.9      | 129.8           | 77.2       | 2.2        | 1.7        | 0.0        | 0.0        | 0.6        | 0.5        | 35.4        | 12.9       | 150.0       |
| 2,009           | 108.2      | 179.9           | 99.2       | 68.9       | 4.9        | 0.0        | 5.6        | 0.0        | 9.8        | 12.7        | 53.2       | 55.6        |
| N° Datos        | 12         | 12              | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12          | 12         | 12          |
| Media           | 184.1      | 189.4           | 145.9      | 44.3       | 5.5        | 2.6        | 5.4        | 4.1        | 11.4       | 31.2        | 40.1       | 102.4       |
| Desv. Estándar  | 63.5       | 60.3            | 54.9       | 25.3       | 5.5        | 4.9        | 8.2        | 5.1        | 9.5        | 26.1        | 30.5       | 39.4        |
| Coef. Variación | 34.5       | 31.9            | 37.6       | 57.2       | 100.5      | 186.8      | 150.8      | 124.1      | 83.2       | 83.4        | 76.0       | 38.5        |
| Prec. Max.      | 306.9      | 300.6           | 265.5      | 88.4       | 15.7       | 17.6       | 22.5       | 13.4       | 36.8       | 85.5        | 90.5       | 171.0       |
| Prec. Min.      | 105.8      | 120.0           | 77.2       | 2.2        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 2.2         | 6.8        | 39.4        |

**Tabla 14: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Ccatcca**

|                 |             |                |            |             |            |            |            |               |            |            |            |             |
|-----------------|-------------|----------------|------------|-------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|-------------|
| Estación        | :           | <b>CCATCCA</b> | Latitud    | :           | 13° 37' S  | Región     | :          | Cusco         |            |            |            |             |
| Tipo            | :           | CO-690         | Longitud   | :           | 71° 34' W  | Provincia  | :          | Quispicanchis |            |            |            |             |
|                 |             |                | Altitud    | :           | 3,729 msnm | Distrito   | :          | Ccatcca       |            |            |            |             |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b>  | <b>FEB</b>     | <b>MAR</b> | <b>ABR</b>  | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b>    | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b>  |
| 1,998           | 73.8        | 129.4          | 62.7       | 10.7        | 0.0        | 15.2       | 0.0        | 0.0           | 0.0        | 31.9       | 58.8       | 61.1        |
| 1,999           | 124.3       | 120.4          | 102.2      | 40.0        | 0.0        | 0.0        | 3.2        | 0.0           | 33.8       | 14.0       | 26.2       | 127.4       |
| 2,000           | 169.3       | 110.5          | 107.7      | 20.1        | 2.0        | 1.8        | 6.4        | 6.6           | 23.7       | 56.3       | 14.9       | 57.2        |
| 2,001           | 265.3       | 153.9          | 126.9      | 62.1        | 22.6       | 0.0        | 18.0       | 24.9          | 17.0       | 98.4       | 67.8       | 74.3        |
| 2,002           | 102.5       | 176.9          | 144.8      | 62.0        | 8.3        | 13.0       | 34.8       | 9.1           | 25.4       | 67.3       | 85.4       | 149.4       |
| 2,003           | 120.4       | 142.6          | 133.4      | 15.7        | 10.3       | 9.2        | 2.5        | 25.5          | 4.8        | 15.7       | 17.8       | 123.5       |
| 2,004           | 169.7       | 106.5          | 91.6       | 28.5        | 17.2       | 28.2       | 27.9       | 14.7          | 48.0       | 55.4       | 69.9       | 91.3        |
| 2,005           | 60.2        | 147.4          | 109.8      | <b>27.9</b> | 2.8        | 0.0        | 1.5        | 5.6           | 9.9        | 27.5       | 77.7       | 98.7        |
| 2,006           | 104.3       | 108.0          | 161.5      | 70.3        | 0.4        | 3.3        | 0.0        | 14.1          | 6.6        | 84.6       | 85.4       | 118.6       |
| 2,007           | 129.5       | 97.4           | 107.6      | 31.9        | 9.9        | 0.0        | 5.1        | 1.9           | 2.5        | 53.7       | 50.7       | 75.3        |
| 2,008           | 151.6       | 114.7          | 62.6       | 24.0        | 8.4        | 6.2        | 0.0        | 13.7          | 6.4        | 54.8       | 87.1       | 185.2       |
| 2,009           | 112.6       | 106.6          | 80.3       | 31.3        | 2.4        | 0.0        | 14.9       | 4.0           | 17.3       | 14.6       | 141.6      | 104.7       |
| 2,010           | 206.3       | 91.0           | 148.5      | 9.8         | 0.0        | 1.7        | 6.1        | 4.7           | 3.6        | 57.9       | 30.6       | 143.4       |
| 2,011           | 133.3       | 223.4          | 147.4      | 62.1        | 6.9        | 4.5        | 12.7       | 1.2           | 36.3       | 40.1       | 31.5       | 130.8       |
| 2,012           | 116.2       | 168.1          | 60.9       | 38.6        | 10.2       | 6.9        | 3.8        | 3.0           | 17.8       | 18.0       | 86.2       | 183.6       |
| 2,013           | 160.7       | 173.5          | 124.0      | 29.4        | 5.5        | 0.9        | 12.3       | 18.1          | 6.7        | 94.5       | 80.1       | 173.6       |
| 2,014           | 160.2       | 120.3          | 69.6       | 38.2        | 16.8       | <b>5.7</b> | 0.0        | 5.9           | 4.5        | 33.2       | 42.5       | 133.6       |
| 2,015           | 166.8       | <b>145.0</b>   | 83.8       | 111.6       | 13.9       | 0.0        | 14.0       | 12.3          | 8.3        | 23.7       | 52.1       | 118.1       |
| 2,016           | <b>73.1</b> | 113.1          | 41.8       | 30.3        | 12.7       | 3.5        | 13.3       | 0.5           | 12.6       | 39.9       | 19.0       | <b>68.8</b> |
| N° Datos        | 19.0        | 19.0           | 19.0       | 19.0        | 19.0       | 19.0       | 19.0       | 19.0          | 19.0       | 19.0       | 19.0       | 19.0        |
| Media           | 136.8       | 134.1          | 103.5      | 39.2        | 7.9        | 5.3        | 9.3        | 8.7           | 15.0       | 46.4       | 59.2       | 116.8       |
| Desv. Estándar  | 49.1        | 33.7           | 35.1       | 24.9        | 6.7        | 7.2        | 9.8        | 8.0           | 13.2       | 26.3       | 32.5       | 39.7        |
| Coef. Variación | 35.9        | 25.1           | 33.9       | 63.5        | 84.1       | 135.8      | 105.2      | 91.6          | 87.6       | 56.8       | 54.9       | 34.0        |
| Prec. Max.      | 265.3       | 223.4          | 161.5      | 111.6       | 22.6       | 28.2       | 34.8       | 25.5          | 48.0       | 98.4       | 141.6      | 185.2       |
| Prec. Min.      | 60.2        | 91.0           | 41.8       | 9.8         | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0           | 0.0        | 14.0       | 14.9       | 57.2        |





**Tabla 16: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Chilcayoc**

|                 |            |                  |            |             |            |             |            |             |             |             |            |             |
|-----------------|------------|------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Estación        | :          | <b>CHILCAYOC</b> | Latitud    | :           | 13°52'57"  | S           | Región     | :           | Ayacucho    |             |            |             |
| Tipo            | :          | CO-156212        | Longitud   | :           | 73°43'35"  | W           | Provincia  | :           | Sucre       |             |            |             |
|                 |            |                  | Altitud    | :           | 3,410      | msnm        | Distrito   | :           | Chalcos     |             |            |             |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>       | <b>MAR</b> | <b>ABR</b>  | <b>MAY</b> | <b>JUN</b>  | <b>JUL</b> | <b>AGO</b>  | <b>SET</b>  | <b>OCT</b>  | <b>NOV</b> | <b>DIC</b>  |
| 1,998           | 348.9      | 233.6            | 228.0      | 53.2        | 0.0        | 8.6         | 0.0        | 4.4         | 5.4         | 108.0       | 25.6       | 38.8        |
| 1,999           | 387.1      | 418.2            | 90.6       | 0.0         | 0.2        | 1.7         | 0.0        | 156.3       | 213.8       | 13.0        | 93.5       | 218.5       |
| 2,000           | 412.0      | 276.0            | 40.0       | 10.0        | 17.0       | 20.0        | 45.0       | 50.0        | 149.0       | 41.0        | 123.0      | 249.0       |
| 2,001           | 220.0      | 225.0            | 23.0       | 59.0        | 15.0       | 43.0        | 63.0       | 28.0        | 92.0        | 136.0       | 79.4       | 85.1        |
| 2,002           | 211.2      | 164.5            | 54.5       | 11.9        | 2.1        | 58.2        | 16.6       | 45.3        | 51.8        | 87.5        | 92.8       | 131.0       |
| 2,003           | 193.0      | 193.1            | 69.0       | 8.3         | 2.2        | 1.1         | 26.4       | 19.3        | 50.1        | 55.5        | 197.8      | 93.8        |
| 2,004           | 180.8      | 114.8            | 39.7       | 12.9        | 20.8       | 38.2        | 20.0       | 22.3        | 37.8        | 30.1        | 138.2      | 111.9       |
| 2,005           | 84.2       | 100.4            | 45.1       | 8.2         | 0.0        | 3.5         | 6.1        | 56.3        | 81.6        | <b>61.3</b> | 198.2      | 253.4       |
| 2,006           | 146.3      | 184.1            | 72.8       | <b>16.6</b> | 7.7        | <b>19.9</b> | 53.7       | <b>30.6</b> | 63.1        | 96.7        | 121.9      | 135.2       |
| 2,007           | 190.4      | 202.0            | 85.2       | 4.6         | 0.0        | 12.0        | 9.8        | 35.4        | 50.5        | 75.6        | 187.7      | 248.9       |
| 2,008           | 165.3      | 113.4            | 16.9       | 9.0         | <b>5.1</b> | 0.0         | 0.0        | 5.7         | 55.0        | 44.7        | 79.3       | 180.9       |
| 2,009           | 210.5      | 154.4            | 90.0       | 6.9         | 3.5        | 28.1        | 4.6        | 25.6        | 58.9        | 92.9        | 136.3      | 231.3       |
| 2,010           | 152.6      | 108.1            | 57.1       | 8.3         | 0.0        | 3.5         | 5.1        | 24.8        | <b>38.2</b> | 34.0        | 171.0      | <b>98.3</b> |
| 2,011           | 268.3      | 148.2            | 88.7       | 3.7         | 2.1        | 19.1        | 7.6        | <b>40.9</b> | <b>79.7</b> | 74.4        | 114.5      | 450.9       |
| 2,012           | 277.6      | 165.7            | 113.1      | 7.4         | 3.2        | 22.2        | 1.4        | 42.9        | 76.4        | 67.5        | 265.0      | 145.3       |
| 2,013           | 199.7      | 159.7            | 10.1       | 34.5        | 18.9       | 9.6         | 54.1       | 14.2        | 40.7        | 74.5        | 137.9      | 243.4       |
| 2,014           | 121.5      | 113.3            |            |             |            |             |            |             |             |             |            |             |
| N° Datos        | 17         | 17               | 16         | 16          | 16         | 16          | 16         | 16          | 16          | 16          | 16         | 16          |
| Media           | 221.7      | 180.9            | 70.2       | 15.9        | 6.1        | 18.0        | 19.6       | 37.6        | 71.5        | 68.3        | 135.1      | 182.2       |
| Desv. Estándar  | 90.8       | 78.5             | 51.4       | 17.4        | 7.4        | 16.9        | 22.0       | 35.0        | 49.1        | 31.9        | 58.5       | 99.9        |
| Coef. Variación | 40.9       | 43.4             | 73.2       | 109.6       | 121.5      | 93.5        | 112.5      | 93.0        | 68.7        | 46.7        | 43.3       | 54.8        |
| Prec. Max.      | 412.0      | 418.2            | 228.0      | 59.0        | 20.8       | 58.2        | 63.0       | 156.3       | 213.8       | 136.0       | 265.0      | 450.9       |
| Prec. Min.      | 84.2       | 100.4            | 10.1       | 0.0         | 0.0        | 0.0         | 0.0        | 4.4         | 5.4         | 13.0        | 25.6       | 38.8        |





**Tabla 19: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Colquepata**

|          |   |                   |          |   |           |      |           |   |             |
|----------|---|-------------------|----------|---|-----------|------|-----------|---|-------------|
| Estación | : | <b>COLQUEPATA</b> | Latitud  | : | 13°21'47" | S    | Región    | : | Cusco       |
| Tipo     | : | CO-156306         | Longitud | : | 71°40'23" | W    | Provincia | : | Paucartambo |
|          |   |                   | Altitud  | : | 3,729     | msnm | Distrito  | : | Colquepata  |

| <b>AÑO</b> | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b>  |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1,998      | 13.8       | 73.0       | 15.4       | 0.2        | 1.2        | 3.5        | 0.1        | 1.2        | 2.8        | 7.1        | 18.3       | 17.1        |
| 1,999      | 37.2       | 94.5       | 106.9      | 10.8       | 2.2        | 1.2        | 3.3        | 2.3        | 22.2       | 13.3       | 5.4        | 91.7        |
| 2,000      | 175.1      | 121.3      | 111.6      | 27.2       | 2.4        | 1.3        | 1.3        | 1.1        | 4.7        | 23.3       | 1.2        | 48.2        |
| 2,001      | 269.0      | 165.4      | 155.3      | 80.3       | 32.4       | 1.9        | 19.2       | 29.3       | 20.1       | 82.1       | 118.2      | 91.6        |
| 2,002      | 120.3      | 162.1      | 144.2      | 75.5       | 6.6        | 14.3       | 50.3       | 23.4       | 32.6       | 73.1       | 51.6       | 135.0       |
| 2,003      | 152.0      | 164.6      | 136.9      | 39.4       | 13.7       | 5.8        | 2.0        | 24.7       | 6.3        | 19.2       | 23.2       | 142.9       |
| 2,004      | 174.9      | 122.9      | 80.2       | 13.5       | 11.7       | 9.3        | 26.7       | 26.9       | 33.2       | 40.4       | 50.9       | 109.0       |
| 2,005      | 63.4       | 158.7      | 73.0       | 35.6       | 8.4        | 0.0        | 4.7        | 4.8        | 8.6        | 32.7       | 47.4       | 68.4        |
| 2,006      | 176.2      | 56.5       | 89.6       | 36.7       | 2.2        | 1.2        | 0.0        | 24.8       | 7.1        | 70.6       | 67.0       | 113.0       |
| 2,007      | 145.9      | 75.4       | 163.5      | 38.9       | 15.8       | 0.4        | 8.7        | 12.0       | 7.7        | 37.1       | 39.1       | 135.4       |
| 2,008      | 165.2      | 138.9      | 76.7       | 36.6       | 16.8       | 19.6       | 4.4        | 18.2       | 18.6       | 62.9       | 57.0       | 153.5       |
| 2,009      | 138.4      | 122.8      | 109.5      | 23.0       | 1.6        | 0.0        | 20.0       | 3.4        | 7.7        | 7.8        | 135.5      | 114.0       |
| 2,010      | 225.5      | 113.5      | 160.4      | 15.1       | 4.4        | 10.1       | 12.5       | 1.3        | 10.5       | 87.4       | 27.1       | 145.8       |
| 2,011      | 149.1      | 169.9      | 148.6      | 55.9       | 6.1        | 12.0       | 21.0       | 11.3       | 42.5       | 39.2       | 34.1       | 121.3       |
| 2,012      | 137.2      | 166.5      | 60.0       | 32.2       | 9.3        | 5.0        | 2.7        | 4.8        | 28.8       | 15.2       | 80.8       | 175.3       |
| 2,013      | 182.3      | 160.6      | 116.6      | 41.6       | 17.2       | 18.5       | 5.3        | 27.7       | 9.5        | 103.7      | 33.2       | 169.2       |
| 2,014      | 199.6      | 86.7       | 93.0       | 40.8       | 25.4       | 6.1        | 8.8        | 28.5       | 12.8       | 37.9       | 40.0       | 122.6       |
| 2,015      | 84.2       | 89.6       | 79.9       | 120.0      | 52.1       | 3.8        | 10.1       | 20.6       | 10.7       | 18.6       | 111.0      | 133.2       |
| 2,016      | 118.0      | 119.1      | 18.0       | 49.0       | 11.4       | 10.2       | <b>6.2</b> | 2.4        | 12.7       | 58.9       | 19.3       | <b>84.6</b> |

|                 |       |       |       |       |       |      |       |      |      |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| N° Datos        | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19   | 19    | 19   | 19   | 19    | 19    | 19    |
| Media           | 143.5 | 124.3 | 102.1 | 40.6  | 12.7  | 6.5  | 10.9  | 14.1 | 15.7 | 43.7  | 50.5  | 114.3 |
| Desv. Estándar  | 62.4  | 37.0  | 43.8  | 27.8  | 12.7  | 6.2  | 12.3  | 11.1 | 11.3 | 29.3  | 37.5  | 40.3  |
| Coef. Variación | 43.5  | 29.7  | 42.9  | 68.4  | 100.3 | 94.5 | 113.0 | 78.8 | 71.6 | 66.9  | 74.2  | 35.3  |
| Prec. Max.      | 269.0 | 169.9 | 163.5 | 120.0 | 52.1  | 19.6 | 50.3  | 29.3 | 42.5 | 103.7 | 135.5 | 175.3 |
| Prec. Min.      | 13.8  | 56.5  | 15.4  | 0.2   | 1.2   | 0.0  | 0.0   | 1.1  | 2.8  | 7.1   | 1.2   | 17.1  |





**Tabla 22: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Curahuasi**

|          |   |                  |          |   |          |      |           |   |           |
|----------|---|------------------|----------|---|----------|------|-----------|---|-----------|
| Estación | : | <b>CURAHUASI</b> | Latitud  | : | 13°33'8" | S    | Región    | : | Apurímac  |
| Tipo     | : | CO-677           | Longitud | : | 72°44'5" | W    | Provincia | : | Abancay   |
|          |   |                  | Altitud  | : | 2,763    | msnm | Distrito  | : | Curahuasi |

| AÑO   | ENE   | FEB   | MAR   | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT   | NOV         | DIC   |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------------|-------|
| 1,998 | 176.3 | 106.6 | 85.8  | 13.0 | 2.2  | 3.9  | 0.0  | 1.7  | 2.2  | 35.1  | 35.8        | 99.3  |
| 1,999 | 182.3 | 171.1 | 119.8 | 60.0 | 8.1  | 3.8  | 2.0  | 0.0  | 27.7 | 64.9  | 65.1        | 107.0 |
| 2,000 | 202.8 | 180.5 | 85.8  | 22.2 | 7.1  | 11.2 | 16.0 | 14.1 | 15.5 | 51.5  | 40.5        | 124.9 |
| 2,001 | 197.2 | 68.5  | 127.9 | 23.3 | 13.5 | 0.0  | 12.6 | 23.1 | 4.0  | 48.5  | 81.1        | 69.3  |
| 2,002 | 114.3 | 158.8 | 107.2 | 87.4 | 15.0 | 7.2  | 32.2 | 12.9 | 27.4 | 102.4 | 108.0       | 106.0 |
| 2,003 | 168.2 | 239.4 | 198.1 | 43.3 | 6.3  | 2.0  | 0.4  | 14.4 | 18.6 | 33.0  | 112.0       | 145.2 |
| 2,004 | 123.8 | 134.1 | 67.7  | 47.9 | 17.9 | 4.0  | 14.5 | 12.4 | 43.9 | 46.9  | 75.8        | 171.7 |
| 2,005 | 77.7  | 97.9  | 102.0 | 28.7 | 2.7  | 0.0  | 11.2 | 2.1  | 8.7  | 31.5  | 66.9        | 141.4 |
| 2,006 | 183.0 | 116.9 | 103.9 | 77.0 | 0.0  | 6.0  | 0.0  | 1.1  | 3.1  | 51.4  | 87.8        | 120.0 |
| 2,007 | 75.6  | 109.1 | 151.6 | 19.1 | 7.0  | 0.0  | 7.8  | 1.5  | 1.0  | 47.4  | 84.1        | 174.5 |
| 2,008 | 107.5 | 127.3 | 109.4 | 18.7 | 8.4  | 6.3  | 0.0  | 10.6 | 5.5  | 48.2  | 93.3        | 152.1 |
| 2,009 | 84.2  | 185.3 | 86.5  | 47.1 | 13.0 | 0.0  | 4.6  | 5.8  | 13.5 | 36.5  | 119.4       | 95.0  |
| 2,010 | 175.5 | 91.2  | 114.6 | 35.5 | 7.1  | 0.0  | 1.8  | 4.6  | 9.9  | 43.0  | 58.7        | 113.0 |
| 2,011 | 145.9 | 185.7 | 152.4 | 52.2 | 5.4  | 1.5  | 6.8  | 18.6 | 33.4 | 37.2  | 90.4        | 102.8 |
| 2,012 | 135.7 | 240.1 | 209.5 | 69.0 | 0.0  | 5.6  | 7.0  | 1.4  | 17.1 | 57.0  | 36.8        | 233.6 |
| 2,013 | 113.2 | 186.9 | 64.6  | 22.1 | 3.7  | 1.0  | 2.3  | 27.0 | 7.9  | 51.7  | 124.2       | 146.8 |
| 2,014 | 182.0 | 121.4 | 136.9 | 60.4 | 5.0  | 0.0  | 2.1  | 1.6  | 21.4 | 43.1  | 52.7        | 169.1 |
| 2,015 | 183.3 | 151.2 | 150.9 | 55.9 | 10.0 | 1.1  | 1.4  | 16.6 | 2.3  | 28.8  | 72.3        | 109.5 |
| 2,016 | 70.9  | 189.4 | 44.1  | 39.2 | 1.3  | 4.2  | 4.9  | 17.2 | 21.3 | 65.0  | <b>69.6</b> | 139.8 |

|                 |       |       |       |      |      |       |       |      |      |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| N° Datos        | 19    | 19    | 19    | 19   | 19   | 19    | 19    | 19   | 19   | 19    | 19    | 19    |
| Media           | 142.1 | 150.6 | 116.8 | 43.3 | 7.0  | 3.0   | 6.7   | 9.8  | 15.0 | 48.6  | 77.6  | 132.7 |
| Desv. Estándar  | 45.0  | 48.3  | 42.9  | 21.5 | 5.1  | 3.2   | 8.0   | 8.3  | 12.0 | 16.6  | 26.6  | 37.7  |
| Coef. Variación | 31.7  | 32.1  | 36.8  | 49.6 | 72.1 | 104.0 | 119.1 | 84.9 | 80.0 | 34.2  | 34.3  | 28.4  |
| Prec. Max.      | 202.8 | 240.1 | 209.5 | 87.4 | 17.9 | 11.2  | 32.2  | 27.0 | 43.9 | 102.4 | 124.2 | 233.6 |
| Prec. Min.      | 70.9  | 68.5  | 44.1  | 13.0 | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 1.0  | 28.8  | 35.8  | 69.3  |

**Tabla 23: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Granja Kcayra**

|                        |            |                          |            |            |            |            |            |            |              |            |            |            |
|------------------------|------------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|
| Estación               | :          | <b>GRANJA<br/>KCAYRA</b> | Latitud    | :          | 13°33'25"  | S          | Región     | :          | Cusco        |            |            |            |
| Tipo                   | :          | CO-607                   | Longitud   | :          | 71°52'31"  | W          | Provincia  | :          | Cusco        |            |            |            |
|                        |            |                          | Altitud    | :          | 3,219      | msnm       | Distrito   | :          | San Jerónimo |            |            |            |
| <b>AÑO</b>             | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>               | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b>   | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998                  | 116.3      | 156.2                    | 22.6       | 31.0       | 1.6        | 1.9        | <b>4.0</b> | 1.6        | 4.3          | 49.8       | 49.7       | 58.9       |
| 1,999                  | 89.3       | 92.2                     | 92.0       | 42.8       | 1.3        | 3.4        | 1.0        | 0.0        | 43.1         | 18.8       | 39.7       | 119.5      |
| 2,000                  | 197.4      | 141.5                    | 119.5      | 10.9       | 2.6        | 5.8        | 2.7        | 4.5        | 10.7         | 49.2       | 27.0       | 82.0       |
| 2,001                  | 233.0      | 173.1                    | 137.4      | 48.0       | 11.5       | 0.0        | 17.4       | 10.2       | 20.6         | 38.3       | 96.8       | 89.4       |
| 2,002                  | 134.5      | 184.6                    | 112.7      | 21.6       | 16.2       | 2.5        | 27.1       | 3.7        | 10.3         | 78.7       | 97.8       | 132.4      |
| 2,003                  | 163.9      | 135.5                    | 142.9      | 56.5       | 2.0        | 6.4        | 0.0        | 21.3       | 3.7          | 34.6       | 23.1       | 123.8      |
| 2,004                  | 173.7      | 125.8                    | 66.5       | 21.0       | 2.4        | 20.5       | 17.0       | 9.0        | 21.7         | 25.6       | 60.9       | 87.9       |
| 2,005                  | 140.8      | <b>121.7</b>             | 120.2      | 33.1       | 3.2        | 0.4        | 1.2        | 4.0        | 4.5          | 39.1       | 59.3       | 102.5      |
| 2,006                  | 203.4      | 155.5                    | 145.9      | 40.9       | 0.2        | 4.9        | 0.0        | 10.5       | 7.5          | 72.5       | 67.8       | 147.2      |
| 2,007                  | 104.8      | 58.7                     | 107.3      | 93.6       | 5.8        | 0.0        | 4.0        | 0.0        | 1.0          | 49.4       | 74.0       | 88.4       |
| 2,008                  | 108.8      | 109.2                    | 64.4       | 7.6        | 8.7        | 2.1        | 0.0        | 3.9        | 13.9         | 51.7       | 90.2       | 131.9      |
| 2,009                  | 112.5      | 108.3                    | 79.1       | 21.3       | 5.3        | 0.0        | 3.3        | 0.7        | 15.1         | 7.0        | 91.3       | 82.1       |
| 2,010                  | 268.6      | 168.5                    | 129.2      | 16.6       | 1.3        | 0.1        | 1.4        | 4.7        | 8.2          | 63.6       | 40.4       | 174.1      |
| 2,011                  | 103.4      | 179.3                    | 131.9      | 67.6       | 3.9        | 3.2        | 3.7        | 0.0        | 38.9         | 38.2       | 60.2       | 110.2      |
| 2,012                  | 70.5       | 157.9                    | 41.7       | 48.1       | 4.5        | 1.2        | 0.0        | 0.1        | 18.4         | 19.5       | 138.2      | 179.5      |
| 2,013                  | 187.3      | 137.2                    | 75.5       | 13.0       | 6.4        | 6.1        | 2.0        | 12.4       | 6.3          | 105.0      | 86.0       | 159.4      |
| 2,014                  | 161.9      | 116.5                    | 40.0       | 35.0       | 10.1       | 0.0        | 3.2        | 5.8        | 12.6         | 82.2       | 37.5       | 155.9      |
| 2,015                  | 169.3      | 140.9                    | 66.7       | 69.8       | 18.6       | 3.9        | 10.3       | 4.6        | 16.1         | 19.1       | 48.6       | 113.0      |
| 2,016                  | 104.0      | 153.1                    | 54.3       | 24.4       | 3.0        | 0.0        | 4.5        | 0.5        | 7.0          | 79.5       | 28.0       | 89.8       |
| <b>N° Datos</b>        | 19         | 19                       | 19         | 19         | 19         | 19         | 19         | 19         | 19           | 19         | 19         | 19         |
| <b>Media</b>           | 149.7      | 137.7                    | 92.1       | 37.0       | 5.7        | 3.3        | 5.4        | 5.1        | 13.9         | 48.5       | 64.0       | 117.3      |
| <b>Desv. Estándar</b>  | 52.5       | 31.9                     | 38.5       | 22.8       | 5.2        | 4.7        | 7.4        | 5.5        | 11.2         | 26.2       | 30.2       | 34.3       |
| <b>Coef. Variación</b> | 35.1       | 23.2                     | 41.8       | 61.7       | 90.1       | 144.3      | 136.3      | 107.5      | 80.8         | 54.0       | 47.2       | 29.2       |
| <b>Prec. Max.</b>      | 268.6      | 184.6                    | 145.9      | 93.6       | 18.6       | 20.5       | 27.1       | 21.3       | 43.1         | 105.0      | 138.2      | 179.5      |
| <b>Prec. Min.</b>      | 70.5       | 58.7                     | 22.6       | 7.6        | 0.2        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 1.0          | 7.0        | 23.1       | 58.9       |



**Tabla 24: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Imata**

| Estación        | :     | <b>IMATA</b> | Latitud  | :           | 15°50'11" | S     | Región    | :          | Arequipa             |             |             |             |
|-----------------|-------|--------------|----------|-------------|-----------|-------|-----------|------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| Tipo            | :     | CO-765       | Longitud | :           | 71°5'15"  | W     | Provincia | :          | Caylloma             |             |             |             |
|                 |       |              | Altitud  | :           | 4,519     | msnm  | Distrito  | :          | San Antonio de Chuca |             |             |             |
| AÑO             | ENE   | FEB          | MAR      | ABR         | MAY       | JUN   | JUL       | AGO        | SET                  | OCT         | NOV         | DIC         |
| 1,998           | 124.1 | 90.0         | 60.5     | <b>28.6</b> | 0.0       | 0.1   | 0.0       | <b>1.8</b> | 0.4                  | 3.6         | 35.4        | 74.9        |
| 1,999           | 76.6  | 218.5        | 255.8    | 66.2        | 1.7       | 0.1   | 0.0       | 1.8        | 15.7                 | 49.3        | 1.7         | 74.6        |
| 2,000           | 165.1 | 116.4        | 74.3     | 12.9        | 8.0       | 0.9   | 0.4       | 1.0        | 0.0                  | 35.1        | 5.7         | 74.6        |
| 2,001           | 210.3 | 177.3        | 93.1     | 54.9        | 2.0       | 0.5   | 0.2       | 3.8        | 5.5                  | 9.4         | 5.2         | 17.3        |
| 2,002           | 54.2  | 178.1        | 159.5    | 68.1        | 6.0       | 0.2   | 21.6      | 2.5        | 0.4                  | 20.8        | 53.1        | 90.3        |
| 2,003           | 91.5  | 87.9         | 101.8    | 19.6        | 14.1      | 0.9   | 0.2       | 14.3       | 1.0                  | 6.2         | 11.6        | 54.3        |
| 2,004           | 141.3 | 120.8        | 77.8     | 27.7        | 0.0       | 0.0   | 22.4      | 5.4        | 7.5                  | 0.2         | 0.0         | 63.7        |
| 2,005           | 89.0  | 152.3        | 77.9     | 33.4        | 0.0       | 0.0   | 0.0       | 0.0        | 17.6                 | 3.3         | 19.2        | 92.3        |
| 2,006           | 216.1 | 139.1        | 153.8    | 28.6        | 0.2       | 0.0   | 0.0       | 0.4        | 3.6                  | 9.1         | 44.9        | 52.9        |
| 2,007           | 133.9 | 96.1         | 156.1    | 35.5        | 7.7       | 0.0   | 0.1       | 0.0        | 1.0                  | 4.3         | 36.0        | 39.8        |
| 2,008           | 150.6 | 85.8         | 46.9     | 1.3         | 0.0       | 0.1   | 0.0       | 0.4        | 0.0                  | 6.0         | 6.3         | 78.6        |
| 2,009           | 109.0 | 188.0        | 71.7     | 71.8        | 0.3       | 0.0   | 10.8      | 0.0        | 15.2                 | 6.3         | 55.2        | 33.2        |
| 2,010           | 162.7 | 189.8        | 85.1     | 26.5        | 7.2       | 0.4   | 0.4       | 0.0        | 3.3                  | 10.2        | 14.4        | 113.1       |
| 2,011           | 119.7 | 180.8        | 119.3    | 43.2        | 3.1       | 0.0   | 3.6       | 0.0        | 13.0                 | 1.8         | 28.0        | 155.6       |
| 2,012           | 182.3 | 174.7        | 101.1    | 93.4        | 0.0       | 0.0   | 0.0       | 0.0        | 7.9                  | 47.6        | 7.9         | 165.1       |
| 2,013           | 187.4 | 118.1        | 67.0     | 0.0         | 11.2      | 8.9   | 14.9      | 10.5       | 0.0                  | <b>13.6</b> | 7.4         | 129.5       |
| 2,014           | 125.8 | 24.5         | 50.8     | <b>20.5</b> | 0.6       | 0.0   | 0.0       | 1.1        | 21.1                 | 16.2        | 8.2         | 30.1        |
| 2,015           | 155.0 | 114.2        | 121.7    | 62.7        | 0.0       | 0.0   | 7.4       | 2.6        | 18.6                 | 36.2        | <b>19.3</b> | <b>83.1</b> |
| N° Datos        | 18    | 18           | 18       | 18          | 18        | 18    | 18        | 18         | 18                   | 18          | 18          | 18          |
| Media           | 138.6 | 136.2        | 104.1    | 38.6        | 3.4       | 0.7   | 4.5       | 2.5        | 7.3                  | 15.5        | 20.0        | 79.0        |
| Desv. Estándar  | 45.0  | 49.7         | 51.4     | 25.8        | 4.5       | 2.1   | 7.7       | 3.9        | 7.5                  | 15.8        | 17.8        | 41.1        |
| Coef. Variación | 32.5  | 36.5         | 49.4     | 66.9        | 129.4     | 312.9 | 168.9     | 156.1      | 102.6                | 101.6       | 89.4        | 52.0        |
| Prec. Max.      | 216.1 | 218.5        | 255.8    | 93.4        | 14.1      | 8.9   | 22.4      | 14.3       | 21.1                 | 49.3        | 55.2        | 165.1       |
| Prec. Min.      | 54.2  | 24.5         | 46.9     | 0.0         | 0.0       | 0.0   | 0.0       | 0.0        | 0.0                  | 0.2         | 0.0         | 17.3        |

**Tabla 25: Registro histórico de precipitación total mensual – estación La Angostura**

|          |   |           |          |   |                  |      |           |   |          |
|----------|---|-----------|----------|---|------------------|------|-----------|---|----------|
| Estación | : | ANGOSTURA | Latitud  | : | 15°11'57.1<br>7" | S    | Región    | : | Arequipa |
| Tipo     | : | CO-754    | Longitud | : | 71°38'4.46<br>"  | W    | Provincia | : | Caylloma |
|          |   |           | Altitud  | : | 4,265            | msnm | Distrito  | : | Caylloma |

| AÑO   | ENE          | FEB   | MAR          | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT         | NOV         | DIC         |
|-------|--------------|-------|--------------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|
| 1,998 | 210.4        | 96.9  | 101.1        | 14.6 | 0.0  | 1.6  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 10.4        | 43.9        | 129.1       |
| 1,999 | 159.6        | 247.7 | 170.2        | 46.5 | 8.8  | 0.3  | 0.0  | 0.0  | 32.1 | 36.9        | 19.4        | 142.3       |
| 2,000 | 245.1        | 233.7 | 203.1        | 13.1 | 19.3 | 4.1  | 0.5  | 17.4 | 2.8  | 83.8        | 29.0        | 116.4       |
| 2,001 | 311.0        | 303.1 | 211.4        | 91.9 | 17.6 | 0.5  | 18.0 | 7.7  | 9.7  | 10.2        | 9.2         | 81.9        |
| 2,002 | 143.8        | 251.1 | 177.3        | 90.6 | 10.1 | 5.6  | 16.7 | 0.0  | 18.2 | 52.1        | 100.8       | 111.0       |
| 2,003 | 133.7        | 174.0 | 221.6        | 42.2 | 9.1  | 4.5  | 0.0  | 2.3  | 17.4 | 18.6        | 39.3        | 133.6       |
| 2,004 | <b>137.2</b> | 143.3 | 104.6        | 56.8 | 1.8  | 3.5  | 23.9 | 18.0 | 10.9 | 8.9         | 14.3        | 54.3        |
| 2,005 | 129.2        | 197.6 | 163.7        | 74.4 | 0.2  | 0.0  | 0.0  | 0.4  | 7.6  | 14.7        | 22.5        | 194.5       |
| 2,006 | 271.1        | 159.3 | 206.5        | 58.1 | 1.3  | 4.9  | 0.0  | 0.8  | 18.6 | 63.1        | 93.1        | 105.9       |
| 2,007 | 193.3        | 151.4 | 160.9        | 36.1 | 11.2 | 0.0  | 3.1  | 0.0  | 13.2 | 18.7        | 69.5        | 134.3       |
| 2,008 | 222.1        | 148.9 | 85.1         | 2.4  | 0.9  | 0.0  | 0.8  | 0.0  | 0.0  | 36.0        | 8.1         | 147.9       |
| 2,009 | 125.7        | 171.2 | 130.5        | 74.1 | 10.9 | 0.0  | 17.4 | 0.0  | 12.0 | 15.6        | 70.0        | 62.8        |
| 2,010 | 235.0        | 166.1 | 81.5         | 43.5 | 6.0  | 0.1  | 0.4  | 0.1  | 2.6  | 27.2        | 2.8         | 134.5       |
| 2,011 | 240.3        | 275.7 | 125.7        | 73.7 | 4.5  | 0.0  | 3.5  | 6.9  | 11.5 | 10.5        | 33.5        | 144.8       |
| 2,012 | 204.1        | 302.0 | 133.4        | 79.5 | 2.3  | 2.8  | 0.4  | 0.0  | 36.4 | 11.9        | 20.6        | 241.1       |
| 2,013 | 128.2        | 194.7 | 148.8        | 6.4  | 9.5  | 16.0 | 2.2  | 13.3 | 0.2  | 57.4        | 35.8        | 122.8       |
| 2,014 | 134.6        | 60.1  | 142.9        | 48.0 | 1.0  | 0.0  | 8.4  | 2.2  | 67.5 | 20.3        | 36.7        | 30.0        |
| 2,015 | 145.3        | 256.1 | <b>154.7</b> | 54.9 | 6.2  | 0.0  | 8.4  | 18.0 | 36.8 | 20.4        | 46.7        | 75.2        |
| 2,016 | 44.9         | 253.9 | 90.4         | 60.4 | 4.8  | 9.6  | 3.8  | 9.2  | 0.0  | <b>18.4</b> | <b>24.6</b> | <b>88.1</b> |

|                 |       |       |       |      |      |       |       |       |       |      |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| N° Datos        | 19    | 19    | 19    | 19   | 19   | 19    | 19    | 19    | 19    | 19   | 19    | 19    |
| Media           | 179.7 | 199.3 | 148.1 | 50.9 | 6.6  | 2.8   | 5.7   | 5.1   | 15.7  | 28.2 | 37.9  | 118.4 |
| Desv. Estándar  | 64.6  | 67.3  | 43.8  | 27.2 | 5.7  | 4.2   | 7.6   | 6.8   | 17.2  | 21.4 | 27.7  | 49.0  |
| Coef. Variación | 36.0  | 33.8  | 29.6  | 53.5 | 85.9 | 148.3 | 135.2 | 135.1 | 109.8 | 75.9 | 73.1  | 41.4  |
| Prec. Max.      | 311.0 | 303.1 | 221.6 | 91.9 | 19.3 | 16.0  | 23.9  | 18.0  | 67.5  | 83.8 | 100.8 | 241.1 |
| Prec. Min.      | 44.9  | 60.1  | 81.5  | 2.4  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 8.9  | 2.8   | 30.0  |



**Tabla 27: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Pampahuta**

|                 |            |                  |            |            |               |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|------------|------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :          | <b>PAMPAHUTA</b> | Latitud    | :          | 15° 29' 7"    | S          | Región     | :          | Puno       |            |            |            |
| Tipo            | :          | CO-110762        | Longitud   | :          | 70° 40' 32.8" | W          | Provincia  | :          | Lampa      |            |            |            |
|                 |            |                  | Altitud    | :          | 4,400         | msnm       | Distrito   | :          | Paritia    |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>       | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b>    | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 154.6      | 159.8            | 103.4      | 29.7       | 0.0           | 0.9        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 31.8       | 104.3      | 45.0       |
| 1,999           | 153.5      | 163.9            | 204.9      | 116.1      | 19.3          | 1.1        | 0.8        | 1.9        | 13.5       | 118.3      | 19.5       | 118.0      |
| 2,000           | 202.1      | 258.8            | 181.6      | 23.3       | 9.4           | 3.9        | 0.4        | 7.7        | 5.1        | 89.7       | 9.9        | 136.1      |
| 2,001           | 299.0      | 248.1            | 149.3      | 81.2       | 19.5          | 2.9        | 3.7        | 16.1       | 14.1       | 39.7       | 17.5       | 68.1       |
| 2,002           | 152.6      | 240.7            | 111.0      | 75.2       | 17.0          | 2.0        | 27.4       | 4.3        | 10.1       | 76.8       | 92.9       | 170.5      |
| 2,003           | 222.2      | 194.8            | 201.4      | 21.3       | 8.3           | 2.8        | 0.0        | 0.0        | 25.5       | 22.7       | 14.1       | 155.6      |
| 2,004           | 226.8      | 162.8            | 55.8       | 75.3       | 0.0           | 0.6        | 11.7       | 13.2       | 26.6       | 14.7       | 32.3       | 102.1      |
| 2,005           | 111.5      | 267.5            | 97.7       | 60.2       | 0.0           | 0.0        | 0.0        | 0.6        | 21.4       | 17.7       | 101.3      | 136.1      |
| 2,006           | 179.4      | 165.0            | 163.7      | 65.3       | 1.8           | 0.0        | 0.0        | 9.1        | 31.4       | 46.7       | 110.3      | 89.4       |
| 2,007           | 149.6      | 147.9            | 260.9      | 81.0       | 13.2          | 0.0        | 9.7        | 0.0        | 16.7       | 27.3       | 54.3       | 116.8      |
| 2,008           | 196.3      | 68.2             | 84.2       | 5.8        | 0.5           | 3.9        | 0.0        | 0.2        | 3.3        | 42.2       | 33.1       | 212.2      |
| 2,009           | 63.1       | 131.4            | 103.7      | 38.7       | 3.8           | 0.0        | 4.2        | 0.7        | 13.9       | 25.4       | 117.0      | 134.2      |
| 2,010           | 223.1      | 231.0            | 113.9      | 57.3       | 7.8           | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 23.2       | 49.2       | 151.9      |
| 2,011           | 105.9      | 209.1            | 155.6      | 83.2       | 3.8           | 0.0        | 3.9        | 1.8        | 25.7       | 14.1       | 31.5       | 172.2      |
| 2,012           | 261.5      | 230.7            | 142.8      | 94.5       | 1.5           | 0.7        | 0.0        | 3.2        | 4.9        | 55.7       | 61.6       | 179.7      |
| 2,013           |            | 149.2            | 63.6       | 6.5        |               |            | 0.6        | 14.1       |            | 36.0       |            |            |
| N° Datos        | 15         | 16               | 16         | 16         | 15            | 15         | 16         | 16         | 15         | 16         | 15         | 15         |
| Media           | 180.1      | 189.3            | 137.1      | 57.2       | 7.1           | 1.3        | 3.9        | 4.6        | 14.1       | 42.6       | 56.6       | 132.5      |
| Desv. Estándar  | 62.3       | 54.8             | 56.0       | 32.8       | 7.2           | 1.5        | 7.2        | 5.6        | 10.3       | 29.4       | 38.6       | 44.4       |
| Coef. Variación | 34.6       | 29.0             | 40.9       | 57.4       | 101.7         | 116.8      | 185.6      | 124.0      | 72.6       | 69.0       | 68.2       | 33.5       |
| Prec. Max.      | 299.0      | 267.5            | 260.9      | 116.1      | 19.5          | 3.9        | 27.4       | 16.1       | 31.4       | 118.3      | 117.0      | 212.2      |
| Prec. Min.      | 63.1       | 68.2             | 55.8       | 5.8        | 0.0           | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 14.1       | 9.9        | 45.0       |

**Tabla 28: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Paruro**

|                 |              |               |            |             |              |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|--------------|---------------|------------|-------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :            | <b>PARURO</b> | Latitud    | :           | 13° 46'3" S  | Región     | :          | Cusco      |            |            |            |            |
| Tipo            | :            | CO-686        | Longitud   | :           | 71° 50'41" W | Provincia  | :          | Paruro     |            |            |            |            |
|                 |              |               | Altitud    | :           | 3,084 msnm   | Distrito   | :          | Paruro     |            |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b>   | <b>FEB</b>    | <b>MAR</b> | <b>ABR</b>  | <b>MAY</b>   | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 177.5        | 149.2         | 96.2       | 56.0        | 0.3          | 3.0        | 0.0        | 1.5        | 0.7        | 105.5      | 94.5       | 105.0      |
| 1,999           | 188.5        | 98.2          | 156.8      | 52.0        | 0.0          | 2.0        | 0.0        | 0.0        | 28.5       | 61.0       | 37.5       | 133.5      |
| 2,000           | 160.5        | 198.5         | 115.0      | 13.5        | 4.5          | 10.0       | 9.0        | 11.0       | 7.0        | 70.5       | 15.4       | 95.4       |
| 2,001           | 249.6        | 172.9         | 162.4      | 21.3        | 5.4          | 3.5        | 10.5       | 6.7        | 16.0       | 78.1       | 75.4       | 91.5       |
| 2,002           | 142.8        | 255.9         | 149.1      | 43.9        | 22.6         | 4.2        | 18.5       | 18.8       | 29.7       | 72.3       | 114.0      | 156.3      |
| 2,003           | 164.7        | 165.8         | 157.7      | 50.5        | 5.9          | 2.6        | 0.0        | 8.7        | 7.4        | 65.1       | 38.2       | 161.7      |
| 2,004           | 189.5        | 219.7         | 56.8       | 22.6        | 14.1         | 12.2       | 8.7        | 0.0        | 34.4       | 59.8       | 53.8       | 148.1      |
| 2,005           | 113.0        | 107.1         | 96.0       | 23.3        | 1.9          | 0.0        | 2.5        | 2.2        | 0.4        | 43.3       | 96.6       | 105.6      |
| 2,006           | 202.8        | 133.0         | 132.5      | 90.0        | 0.0          | 6.2        | 0.0        | 8.8        | 2.3        | 42.3       | 77.2       | 109.8      |
| 2,007           | 176.5        | 76.4          | 172.0      | 46.7        | 2.1          | 0.0        | 0.6        | 0.0        | 11.3       | 39.5       | 101.7      | 127.7      |
| 2,008           | 137.5        | 70.4          | 100.3      | 22.5        | 21.4         | 4.5        | 0.0        | 3.2        | 28.4       | 52.0       | 75.1       | 115.7      |
| 2,009           | 178.3        | 123.2         | 92.7       | 33.4        | 6.5          | 0.0        | 6.4        | 0.3        | 11.8       | 16.3       | 213.0      | 150.7      |
| 2,010           | 339.5        | 153.9         | 126.7      | 45.1        | 4.5          | 0.0        | 0.0        | 6.9        | 2.5        | 59.1       | 62.1       | 183.5      |
| 2,011           | 84.1         | 241.1         | 164.4      | 51.1        | 2.4          | 3.2        | 4.9        | 0.7        | 40.3       | 72.1       | 47.3       | 208.8      |
| 2,012           | 139.8        | 213.8         | 111.0      | 30.7        | 1.4          | 4.4        | 1.6        | 0.0        | 41.0       | 28.8       | 148.7      | 241.6      |
| 2,013           | 171.7        | 188.9         | 97.9       | <b>48.3</b> | 0.0          | 7.0        | 1.5        | 15.4       | 14.7       | 106.9      | 101.2      | 203.9      |
| 2,014           | 252.0        | 168.5         | 96.5       | 62.0        | 6.1          | 0.0        | 4.0        | 2.1        | 12.3       | 42.9       | 20.6       | 204.6      |
| 2,015           |              |               |            |             |              |            |            |            |            |            |            |            |
| 2,016           | <b>187.2</b> | 254.7         | 85.8       | 31.1        | 4.8          | 0.0        | 7.2        | 3.2        | 18.7       | 88.1       | 45.3       | 122.9      |
| N° Datos        | 18           | 18            | 18         | 18          | 18           | 18         | 18         | 18         | 18         | 18         | 18         | 18         |
| Media           | 180.9        | 166.2         | 120.5      | 41.3        | 5.8          | 3.5        | 4.2        | 5.0        | 17.1       | 61.3       | 78.8       | 148.1      |
| Desv. Estándar  | 57.1         | 57.9          | 33.3       | 18.6        | 6.8          | 3.6        | 5.1        | 5.7        | 13.5       | 24.3       | 48.2       | 44.5       |
| Coef. Variación | 31.6         | 34.8          | 27.6       | 45.0        | 118.1        | 102.3      | 121.1      | 113.9      | 79.0       | 39.6       | 61.2       | 30.0       |
| Prec. Max.      | 339.5        | 255.9         | 172.0      | 90.0        | 22.6         | 12.2       | 18.5       | 18.8       | 41.0       | 106.9      | 213.0      | 241.6      |
| Prec. Min.      | 84.1         | 70.4          | 56.8       | 13.5        | 0.0          | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.4        | 16.3       | 15.4       | 91.5       |

**Tabla 29: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Pisac**

|          |   |              |          |   |           |      |           |   |       |
|----------|---|--------------|----------|---|-----------|------|-----------|---|-------|
| Estación | : | <b>PISAC</b> | Latitud  | : | 13°24'58" | S    | Región    | : | Cusco |
| Tipo     | : | CO-844       | Longitud | : | 71°50'59" | W    | Provincia | : | Calca |
|          |   |              | Altitud  | : | 2,950     | msnm | Distrito  | : | Pisac |

| AÑO   | ENE   | FEB   | MAR   | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT   | NOV   | DIC   |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1,998 | 129.8 | 98.7  | 38.2  | 21.6 | 4.2  | 3.0  | 0.0  | 0.8  | 13.5 | 64.0  | 50.9  | 51.3  |
| 1,999 | 93.2  | 122.3 | 51.5  | 28.3 | 4.9  | 4.0  | 2.6  | 0.0  | 30.0 | 17.7  | 40.2  | 105.9 |
| 2,000 | 159.8 | 105.4 | 58.7  | 2.2  | 9.1  | 3.7  | 0.0  | 2.0  | 4.4  | 41.6  | 11.0  | 70.6  |
| 2,001 | 211.2 | 136.4 | 152.2 | 19.9 | 12.1 | 0.0  | 19.4 | 5.6  | 8.0  | 50.0  | 77.4  | 102.0 |
| 2,002 | 90.6  | 161.4 | 106.1 | 35.8 | 6.6  | 4.3  | 46.6 | 3.3  | 10.9 | 39.4  | 91.6  | 127.9 |
| 2,003 | 114.4 | 108.7 | 110.7 | 15.8 | 4.4  | 6.8  | 0.0  | 23.6 | 4.0  | 31.7  | 18.3  | 120.9 |
| 2,004 | 149.9 | 109.2 | 95.6  | 15.8 | 2.0  | 16.4 | 10.3 | 6.9  | 32.5 | 25.9  | 43.0  | 94.3  |
| 2,005 | 127.0 | 76.9  | 69.1  | 29.6 | 0.0  | 0.0  | 1.5  | 3.7  | 4.1  | 18.0  | 50.5  | 58.6  |
| 2,006 | 170.7 | 82.2  | 125.0 | 34.5 | 0.0  | 30.0 | 0.0  | 14.3 | 5.2  | 42.7  | 69.7  | 117.1 |
| 2,007 | 102.7 | 55.8  | 135.8 | 42.1 | 7.6  | 0.0  | 1.7  | 0.0  | 4.9  | 32.7  | 66.9  | 83.3  |
| 2,008 | 154.3 | 151.5 | 61.5  | 8.5  | 5.9  | 3.6  | 0.7  | 3.2  | 9.8  | 28.0  | 64.1  | 133.9 |
| 2,009 | 89.9  | 89.4  | 66.2  | 14.1 | 0.2  | 0.0  | 3.1  | 8.0  | 20.4 | 8.2   | 117.9 | 125.3 |
| 2,010 | 270.1 | 145.1 | 155.8 | 6.0  | 6.5  | 1.1  | 1.4  | 11.4 | 1.8  | 72.7  | 26.3  | 204.2 |
| 2,011 | 100.7 | 170.6 | 109.2 | 32.9 | 6.8  | 7.0  | 8.6  | 0.6  | 27.9 | 26.2  | 48.0  | 139.5 |
| 2,012 | 67.0  | 157.0 | 54.2  | 30.1 | 1.2  | 0.0  | 0.8  | 0.5  | 24.1 | 8.6   | 127.0 | 146.8 |
| 2,013 | 104.8 | 152.2 | 68.1  | 23.3 | 10.7 | 5.4  | 4.1  | 15.8 | 5.6  | 132.0 | 52.9  | 170.1 |
| 2,014 | 143.8 | 82.6  | 68.7  | 50.0 | 12.8 | 0.0  | 1.3  | 1.5  | 22.9 | 28.2  | 12.5  | 105.8 |
| 2,015 | 78.0  | 53.1  | 39.2  | 35.5 | 3.2  | 0.0  | 26.8 | 3.6  | 4.9  | 7.4   | 20.6  | 51.8  |
| 2,016 | 45.0  | 84.5  | 19.7  | 12.3 | 22.5 | 2.4  | 7.3  | 0.0  | 14.1 | 72.9  | 27.1  | 65.9  |

|                 |       |       |       |      |      |       |       |       |      |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| N° Datos        | 19    | 19    | 19    | 19   | 19   | 19    | 19    | 19    | 19   | 19    | 19    | 19    |
| Media           | 126.5 | 112.8 | 83.4  | 24.1 | 6.4  | 4.6   | 7.2   | 5.5   | 13.1 | 39.4  | 53.5  | 109.2 |
| Desv. Estándar  | 53.0  | 36.5  | 39.8  | 12.9 | 5.5  | 7.3   | 11.9  | 6.5   | 10.0 | 29.9  | 33.1  | 40.8  |
| Coef. Variación | 41.9  | 32.4  | 47.7  | 53.4 | 86.9 | 158.8 | 166.6 | 117.9 | 76.6 | 76.0  | 61.9  | 37.4  |
| Prec. Max.      | 270.1 | 170.6 | 155.8 | 50.0 | 22.5 | 30.0  | 46.6  | 23.6  | 32.5 | 132.0 | 127.0 | 204.2 |
| Prec. Mín.      | 45.0  | 53.1  | 19.7  | 2.2  | 0.0  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 1.8  | 7.4   | 11.0  | 51.3  |

**Tabla 30: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Pomacanchi**

|                 |            |                   |            |            |             |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|------------|-------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :          | <b>POMACANCHI</b> | Latitud    | :          | 14° 1' 41"  | S          | Región     | :          | Cusco      |            |            |            |
| Tipo            | :          | CO                | Longitud   | :          | 71° 34' 22" | W          | Provincia  | :          | Acomayo    |            |            |            |
|                 |            |                   | Altitud    | :          | 3,200       | msnm       | Distrito   | :          | Pomacanchi |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>        | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b>  | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 141.0      | 130.3             | 136.8      | 17.5       | 0.0         | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 1.0        | 72.0       | 104.5      | 115.0      |
| 1,999           | 173.5      | 140.6             | 84.2       | 93.3       | 9.2         | 0.0        | 1.6        | 0.0        | 19.1       | 34.4       | 40.7       | 106.3      |
| 2,000           | 119.2      | 184.2             | 112.0      | 30.6       | 7.5         | 14.8       | 6.0        | 16.1       | 22.5       | 92.3       | 41.3       | 138.1      |
| 2,001           | 246.0      | 159.6             | 180.9      | 45.2       | 15.7        | 3.3        | 21.3       | 15.8       | 18.9       | 84.0       | 81.3       | 198.3      |
| 2,002           | 128.0      | 236.1             | 174.2      | 69.0       | 13.7        | 0.6        | 27.8       | 17.3       | 62.3       | 65.5       | 108.4      | 121.9      |
| 2,003           | 167.2      | 164.4             | 150.6      | 163.5      | 16.4        | 8.7        | 0.0        | 6.0        | 17.1       | 64.4       | 50.2       | 110.0      |
| 2,004           | 260.9      | 175.4             | 81.5       | 51.2       | 25.4        | 10.2       | 8.9        | 16.9       | 71.5       | 57.2       | 67.2       | 164.0      |
| 2,005           | 85.8       | 130.3             | 148.0      | 52.0       | 2.1         | 0.0        | 0.2        | 4.3        | 2.6        | 74.2       | 101.5      | 105.7      |
| 2,006           | 163.7      | 232.3             | 95.6       | 140.6      | 1.1         | 11.1       | 0.0        | 7.3        | 4.3        | 80.2       | 101.3      | 149.3      |
| 2,007           | 172.6      | 175.6             | 226.5      | 77.6       | 14.1        | 0.0        | 4.8        | 0.0        | 4.0        | 52.5       | 99.7       | 102.7      |
| 2,008           | 158.6      | 140.8             | 128.3      | 33.7       | 12.9        | 4.4        | 0.0        | 3.1        | 17.0       | 77.9       | 78.3       | 129.5      |
| 2,009           | 136.7      | 105.6             | 80.5       | 41.8       | 8.6         | 0.0        | 19.1       | 0.0        | 11.0       | 18.2       | 202.5      | 111.1      |
| 2,010           | 292.1      | 88.4              | 116.6      | 53.8       | 2.4         | 0.0        | 0.0        | 12.8       | 5.3        | 58.9       | 42.1       | 156.7      |
| 2,011           | 119.1      | 151.8             | 135.7      | 60.2       | 9.3         | 4.7        | 7.1        | 8.9        | 56.5       | 50.9       | 42.8       | 189.7      |
| 2,012           | 184.7      | 232.7             | 100.4      | 63.9       | 2.6         | 10.2       | 1.1        | 2.9        | 34.9       | 45.0       | 95.5       | 172.6      |
| 2,013           | 178.0      | 167.1             | 91.8       | 46.2       | 8.9         | 1.3        | 0.0        | 19.9       | 22.3       | 60.5       | 105.1      | 210.3      |
| 2,014           | 131.0      | 124.7             | 94.0       | 39.0       | 7.5         | 0.0        | 3.2        | 2.5        | 43.4       | 92.8       | 54.3       | 142.6      |
| 2,015           | 177.8      | <b>166.3</b>      | 151.0      | 71.4       | 9.7         | 0.0        | 11.2       | 7.9        | 6.6        | 32.4       | 115.3      | 142.3      |
| 2,016           | 135.1      | 273.5             | 73.3       | 74.9       | 7.1         | 0.0        | 7.0        | 3.2        | 17.2       | 67.4       | 47.9       | 75.5       |
| N° Datos        | 19         | 19                | 19         | 19         | 19          | 19         | 19         | 19         | 19         | 19         | 19         | 19         |
| Media           | 166.9      | 167.4             | 124.3      | 64.5       | 9.2         | 3.6        | 6.3        | 7.6        | 23.0       | 62.1       | 83.2       | 139.0      |
| Desv. Estándar  | 51.6       | 47.9              | 40.8       | 36.1       | 6.3         | 4.9        | 8.2        | 6.8        | 21.1       | 20.2       | 39.6       | 36.1       |
| Coef. Variación | 30.9       | 28.6              | 32.8       | 55.9       | 68.8        | 133.6      | 131.1      | 89.2       | 91.8       | 32.5       | 47.6       | 26.0       |
| Prec. Max.      | 292.1      | 273.5             | 226.5      | 163.5      | 25.4        | 14.8       | 27.8       | 19.9       | 71.5       | 92.8       | 202.5      | 210.3      |
| Prec. Min.      | 85.8       | 88.4              | 73.3       | 17.5       | 0.0         | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 1.0        | 18.2       | 40.7       | 75.5       |

**Tabla 31: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Porpera**

|                 |            |                |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |
|-----------------|------------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :          | <b>PORPERA</b> | Latitud    | :          | 15° 21'    | S          | Región     | :          | Arequipa    |            |            |            |
| Tipo            | :          |                | Longitud   | :          | 71° 19'    | W          | Provincia  | :          | Caylloma    |            |            |            |
|                 |            |                | Altitud    | :          | 4,195      | msnm       | Distrito   | :          | Tisco       |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>     | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b>  | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 189.5      | 131.2          | 102.7      | 42.3       | 0.0        | 2.8        | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 25.0       | 87.0       | 102.7      |
| 1,999           | 224.1      | 345.3          | 258.9      | 91.1       | 6.8        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 30.6        | 93.7       | 24.2       | 95.2       |
| 2,000           | 272.3      | 259.7          | 178.7      | 6.6        | 30.3       | 5.7        | 0.2        | 9.8        | 1.9         | 103.6      | 6.6        | 111.5      |
| 2,001           | 221.8      | 233.2          | 154.4      | 113.8      | 46.7       | 3.5        | 17.3       | 13.9       | 4.8         | 7.2        | 14.5       | 52.1       |
| 2,002           | 137.8      | 246.9          | 168.2      | 105.8      | 31.0       | 10.4       | 34.4       | 2.0        | 11.5        | 48.9       | 68.9       | 113.5      |
| 2,003           | 141.5      | 191.0          | 177.1      | 35.6       | 9.3        | 5.7        | 0.0        | 3.8        | 21.6        | 17.1       | 11.2       | 149.8      |
| 2,004           | 321.7      | 196.8          | 161.8      | 57.8       | 0.0        | 0.0        | 17.0       | 22.1       | 26.0        | 1.3        | 10.1       | 75.9       |
| 2,005           | 173.4      | 190.4          | 104.7      | 71.5       | 0.2        | 0.0        | 0.0        | 3.6        | <b>11.2</b> | 24.4       | 35.7       | 108.8      |
| 2,006           | 236.5      | 165.0          | 201.7      | 67.1       | 7.1        | 0.0        | 0.0        | 3.5        | 14.5        | 31.0       | 98.0       | 121.4      |
| 2,007           | 204.8      | 219.9          | 195.0      | 56.5       | 12.2       | 0.5        | 6.3        | 0.0        | 39.6        | 40.8       | 11.1       | 109.8      |
| 2,008           | 298.0      | 145.6          | 71.0       | 0.7        | 3.4        | 0.4        | 1.3        | 0.0        | 6.1         | 32.4       | 6.3        | 144.8      |
| 2,009           | 97.1       | 219.3          | 108.3      | 84.3       | 0.0        | 0.0        | 16.0       | 2.8        | 22.4        | 14.6       | 98.7       | 69.0       |
| 2,010           | 260.1      | 251.5          | 90.1       | 61.3       | 10.2       | 1.5        | 1.0        | 2.8        | 7.3         | 38.3       | 12.5       | 177.2      |
| 2,011           | 243.5      | 306.0          | 132.7      | 107.9      | 4.1        | 0.0        | 6.3        | 1.8        | 6.5         | 13.6       | 41.2       | 197.6      |
| 2,012           | 323.0      | 286.6          | 142.8      | 130.5      | 8.4        | 0.0        | 0.0        | 1.5        | 20.0        | 54.7       | 11.7       | 210.9      |
| 2,013           | 160.3      | 171.7          | 90.3       | 6.0        | 9.3        | 17.7       | 2.8        | 17.8       | 0.5         | 43.2       | 39.1       | 124.7      |
| 2,014           | 163.9      | 88.8           |            |            |            |            |            |            |             |            |            |            |
| N° Datos        | 17         | 17             | 16         | 16         | 16         | 16         | 16         | 16         | 16          | 16         | 16         | 16         |
| Media           | 215.8      | 214.6          | 146.2      | 64.9       | 11.2       | 3.0        | 6.4        | 5.3        | 14.0        | 36.9       | 36.1       | 122.8      |
| Desv. Estándar  | 66.1       | 65.6           | 50.4       | 39.9       | 13.4       | 4.9        | 9.9        | 6.8        | 11.6        | 28.4       | 33.6       | 44.3       |
| Coef. Variación | 30.6       | 30.5           | 34.5       | 61.4       | 119.5      | 163.5      | 153.8      | 128.3      | 82.8        | 77.1       | 93.1       | 36.0       |
| Prec. Max.      | 323.0      | 345.3          | 258.9      | 130.5      | 46.7       | 17.7       | 34.4       | 22.1       | 39.6        | 103.6      | 98.7       | 210.9      |
| Prec. Mín.      | 97.1       | 88.8           | 71.0       | 0.7        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0         | 1.3        | 6.3        | 52.1       |



**Tabla 32: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Santa Rosa**

|                 |            |                   |            |            |               |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|------------|-------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :          | <b>SANTA ROSA</b> | Latitud    | :          | 14° 37' 25.5" | S          | Región     | :          | Puno       |            |            |            |
| Tipo            | :          | CO-823            | Longitud   | :          | 70° 47' 11.5" | W          | Provincia  | :          | Melgar     |            |            |            |
|                 |            |                   | Altitud    | :          | 3,986         | msnm       | Distrito   | :          | Santa Rosa |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>        | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b>    | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 145.6      | 125.6             | 134.6      | 44.1       | 0.0           | 2.6        | 0.0        | 5.0        | 9.1        | 127.5      | 114.1      | 46.6       |
| 1,999           | 138.5      | 164.8             | 276.0      | 65.2       | 10.3          | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 26.6       | 54.7       | 16.4       | 98.2       |
| 2,000           | 187.1      | 139.6             | 108.0      | 19.0       | 3.2           | 5.9        | 2.8        | 7.1        | 10.5       | 180.2      | 24.6       | 151.5      |
| 2,001           | 242.8      | 163.7             | 125.8      | 28.9       | 34.9          | 0.0        | 8.8        | 5.2        | 15.5       | 37.9       | 25.9       | 56.8       |
| 2,002           | 153.4      | 168.6             | 130.9      | 84.8       | 27.8          | 11.3       | 12.1       | 2.4        | 24.1       | 107.1      | 89.3       | 123.6      |
| 2,003           | 155.1      | 147.2             | 186.3      | 37.7       | 10.6          | 2.3        | 0.0        | 11.8       | 14.6       | 24.0       | 26.1       | 112.9      |
| 2,004           | 220.7      | 113.3             | 84.1       | 50.7       | 0.0           | 2.6        | 2.2        | 20.3       | 35.6       | 15.2       | 80.7       | 122.8      |
| 2,005           | 71.2       | 202.5             | 112.0      | 35.8       | 0.0           | 0.0        | 2.6        | 10.8       | 2.0        | 67.0       | 84.8       | 105.4      |
| 2,006           | 227.1      | 103.1             | 102.5      | 61.6       | 1.0           | 8.0        | 0.0        | 6.8        | 8.4        | 42.8       | 73.6       | 215.2      |
| 2,007           | 101.1      | 104.6             | 227.2      | 65.8       | 9.5           | 1.2        | 3.0        | 0.0        | 41.6       | 53.7       | 81.3       | 84.4       |
| 2,008           | 161.3      | 79.1              | 79.9       | 12.6       | 4.2           | 2.6        | 0.0        | 2.4        | 4.8        | 59.0       | 56.9       | 192.0      |
| 2,009           | 120.2      | 135.9             | 72.4       | 28.4       | 2.2           | 0.0        | 1.2        | 0.0        | 13.3       | 36.0       | 126.1      | 136.2      |
| 2,010           | 276.3      | 150.0             | 132.0      | 28.7       | 8.1           | 1.2        | 0.0        | 0.8        | 10.4       | 17.7       | 44.2       | 119.7      |
| 2,011           | 109.1      | 208.2             | 176.7      | 54.7       | 12.1          | 3.6        | 6.4        | 1.2        | 47.8       | 41.1       | 46.8       | 139.6      |
| 2,012           | 154.0      | 191.8             | 177.9      | 111.5      | 0.0           | 0.0        | 0.0        | 1.1        | 19.6       | 27.8       | 70.4       | 186.1      |
| 2,013           | 212.4      | 141.0             | 118.0      | 31.0       | 7.9           | 9.0        | 1.8        | 6.4        | 7.6        | 63.2       | 73.2       | 148.5      |
| 2,014           | 147.7      | 136.1             | 74.8       | 29.9       | 1.2           | 0.0        |            |            |            |            |            |            |
| N° Datos        | 17         | 17                | 17         | 17         | 17            | 17         | 16         | 16         | 16         | 16         | 16         | 16         |
| Media           | 166.1      | 145.6             | 136.4      | 46.5       | 7.8           | 3.0        | 2.6        | 5.1        | 18.2       | 59.7       | 64.7       | 127.5      |
| Desv. Estándar  | 54.7       | 35.5              | 56.1       | 25.4       | 9.9           | 3.5        | 3.6        | 5.5        | 13.5       | 44.1       | 32.3       | 45.9       |
| Coef. Variación | 32.9       | 24.4              | 41.2       | 54.6       | 126.5         | 119.4      | 140.3      | 108.8      | 74.1       | 73.9       | 50.0       | 36.0       |
| Prec. Max.      | 276.3      | 208.2             | 276.0      | 111.5      | 34.9          | 11.3       | 12.1       | 20.3       | 47.8       | 180.2      | 126.1      | 215.2      |
| Prec. Mín.      | 71.2       | 79.1              | 72.4       | 12.6       | 0.0           | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 2.0        | 15.2       | 16.4       | 46.6       |

**Tabla 33: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Santo Tomas**

|          |   |                    |          |   |             |      |           |   |              |
|----------|---|--------------------|----------|---|-------------|------|-----------|---|--------------|
| Estación | : | <b>SANTO TOMAS</b> | Latitud  | : | 14° 23' 58" | S    | Región    | : | Cusco        |
| Tipo     | : | CO - 752           | Longitud | : | 72° 05' 19" | W    | Provincia | : | Chumbivilcas |
|          |   |                    | Altitud  | : | 3,253       | msnm | Distrito  | : | Llusco       |

| AÑO   | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT   | NOV   | DIC   |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1,999 |       |       |       |       | 0.3  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 45.6 | 66.9  | 0.0   | 86.4  |
| 2,000 | 176.3 | 190.7 | 158.5 | 25.2  | 3.4  | 10.1 |      | 0.0  | 21.0 | 42.9  | 0.0   | 155.1 |
| 2,001 | 199.5 | 215.9 | 274.0 | 46.3  | 11.2 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 7.9  | 29.6  | 1.3   | 72.7  |
| 2,002 | 115.9 | 180.3 | 119.2 | 25.6  | 9.8  | 6.0  | 14.0 | 0.0  | 31.8 | 76.0  | 71.9  | 103.7 |
| 2,003 | 154.0 | 175.8 | 173.2 | 54.4  | 0.0  | 2.4  | 0.0  | 13.5 | 10.8 | 33.9  | 40.3  | 113.3 |
| 2,004 | 140.7 | 149.6 | 121.3 | 22.4  | 0.0  | 0.0  | 34.0 | 18.4 | 15.6 | 60.2  | 112.0 | 250.0 |
| 2,005 | 126.0 | 121.0 | 169.0 | 49.7  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 9.7  | 54.6  | 69.4  | 159.0 |
| 2,006 | 251.2 | 197.4 | 140.6 | 108.1 | 0.0  | 2.6  | 0.0  | 6.9  | 13.1 | 71.3  | 87.6  | 150.4 |
| 2,007 | 145.6 | 92.0  | 168.1 | 53.2  | 7.7  | 0.0  | 8.9  | 0.0  | 4.9  | 27.9  | 56.3  | 185.7 |
| 2,008 | 205.4 | 126.4 | 100.8 | 13.1  | 8.2  | 3.1  | 0.0  | 0.0  | 10.8 | 106.2 | 21.2  | 168.5 |
| 2,009 | 91.2  | 152.4 | 121.5 | 73.5  | 3.7  | 0.0  | 3.0  | 0.0  | 0.0  | 22.5  | 112.8 | 105.5 |

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| N° Datos        | 10    | 10    | 10    | 10    | 11    | 11    | 10    | 11    | 11   | 11    | 11    | 11    |
| Media           | 160.6 | 160.2 | 154.6 | 47.2  | 4.0   | 2.2   | 6.0   | 3.5   | 15.6 | 53.8  | 52.1  | 140.9 |
| Desv. Estándar  | 47.9  | 38.8  | 48.9  | 28.3  | 4.4   | 3.3   | 11.0  | 6.6   | 13.0 | 25.5  | 42.8  | 51.3  |
| Coef. Variación | 29.8  | 24.2  | 31.7  | 60.1  | 109.6 | 148.6 | 183.0 | 186.2 | 83.7 | 47.4  | 82.3  | 36.4  |
| Prec. Max.      | 251.2 | 215.9 | 274.0 | 108.1 | 11.2  | 10.1  | 34.0  | 18.4  | 45.6 | 106.2 | 112.8 | 250.0 |
| Prec. Min.      | 91.2  | 92.0  | 100.8 | 13.1  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 22.5  | 0.0   | 72.7  |

**Tabla 34: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Sibayo**

|                 |              |               |            |            |             |            |             |            |            |            |            |            |
|-----------------|--------------|---------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :            | <b>SIBAYO</b> | Latitud    | :          | 15° 29' 39" | S          | Región      | :          | Arequipa   |            |            |            |
| Tipo            | :            | CO-759        | Longitud   | :          | 71°27'9.59" | W          | Provincia   | :          | Caylloma   |            |            |            |
|                 |              |               | Altitud    | :          | 3,806       | msnm       | Distrito    | :          | Sibayo     |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b>   | <b>FEB</b>    | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b>  | <b>JUN</b> | <b>JUL</b>  | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 257.7        | 65.2          | 77.5       | 13.3       | 0.0         | 0.0        | 0.0         | 0.0        | 0.0        | 1.1        | 52.5       | 102.2      |
| 1,999           | 144.7        | 281.8         | 217.2      | 47.0       | 1.2         | 0.0        | 0.5         | 0.0        | 27.1       | 51.9       | 13.0       | 71.0       |
| 2,000           | 230.1        | 154.4         | 131.2      | 12.5       | 16.4        | 3.9        | 0.0         | 8.4        | 0.0        | 66.5       | 11.9       | 89.5       |
| 2,001           | 231.1        | 239.9         | 124.7      | 78.8       | 5.2         | 3.9        | 4.9         | 23.0       | 0.0        | 16.3       | 6.7        | 32.3       |
| 2,002           | 125.5        | 233.5         | 128.1      | 65.0       | 2.1         | 3.8        | 28.6        | 0.2        | 11.8       | 15.2       | 60.5       | 123.2      |
| 2,003           | 83.9         | 144.0         | 118.3      | 24.3       | 4.7         | 0.0        | 1.8         | 8.9        | 1.7        | 8.2        | 3.0        | 82.4       |
| 2,004           | 181.1        | 150.9         | 176.6      | 12.1       | 0.0         | 0.0        | 19.9        | 11.1       | 27.3       | 3.5        | 0.0        | 52.1       |
| 2,005           | 96.6         | 172.5         | 67.8       | 22.9       | 0.0         | 0.0        | 0.0         | 0.0        | 20.5       | 2.7        | 9.5        | 93.2       |
| 2,006           | 232.6        | 164.9         | 228.7      | 29.8       | 1.0         | 5.8        | 0.0         | 1.9        | 10.5       | 35.0       | 41.9       | 16.2       |
| 2,007           | 147.0        | 144.0         | 95.1       | 25.6       | 9.8         | 0.0        | 2.1         | 0.0        | 3.3        | 8.1        | 23.2       | 56.3       |
| 2,008           | 229.7        | 128.4         | 49.0       | 3.5        | 0.9         | 0.5        | 0.0         | 0.0        | 0.3        | 4.1        | 4.4        | 80.9       |
| 2,009           | <b>203.6</b> | 245.0         | 89.0       | 66.6       | 0.0         | 0.0        | 7.8         | 2.5        | 12.5       | 3.0        | 45.0       | 39.2       |
| 2,010           | 194.6        | 136.3         | 75.5       | 37.0       | 5.7         | 0.0        | 1.3         | 0.0        | 6.5        | 9.3        | 13.7       | 108.6      |
| 2,011           | 197.6        | 209.5         | 83.5       | 98.8       | 1.1         | 0.2        | 10.4        | 0.0        | 0.3        | 5.2        | 23.6       | 190.1      |
| 2,012           | 245.0        | 313.7         | 138.8      | 93.5       | 4.2         | 0.0        | <b>10.2</b> | 0.0        | 22.0       | 34.3       | 13.1       | 205.7      |
| 2,013           | 188.0        | 144.8         | 83.7       | 0.0        | 6.0         | 15.1       | 20.5        | 15.6       | 0.0        | 18.3       | 16.3       | 84.4       |
| 2,014           | 166.0        | 19.6          |            |            |             |            |             |            |            |            |            |            |
| Nº Datos        | 17           | 17            | 16         | 16         | 16          | 16         | 16          | 16         | 16         | 16         | 16         | 16         |
| Media           | 185.6        | 173.4         | 117.8      | 39.4       | 3.6         | 2.1        | 6.8         | 4.5        | 9.0        | 17.7       | 21.1       | 89.2       |
| Desv. Estándar  | 51.8         | 74.2          | 52.1       | 31.9       | 4.5         | 4.0        | 9.0         | 7.0        | 10.2       | 19.4       | 18.7       | 51.3       |
| Coef. Variación | 27.9         | 42.8          | 44.2       | 80.9       | 122.0       | 191.8      | 133.2       | 156.3      | 113.2      | 109.8      | 88.4       | 57.5       |
| Prec. Max.      | 257.7        | 313.7         | 228.7      | 98.8       | 16.4        | 15.1       | 28.6        | 23.0       | 27.3       | 66.5       | 60.5       | 205.7      |
| Prec. Min.      | 83.9         | 19.6          | 49.0       | 0.0        | 0.0         | 0.0        | 0.0         | 0.0        | 0.0        | 1.1        | 0.0        | 16.2       |

**Tabla 35: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Sicuani**

|                 |            |                |            |            |             |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|------------|----------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :          | <b>SICUANI</b> | Latitud    | :          | 14° 15' 13" | S          | Región     | :          | Cusco      |            |            |            |
| Tipo            | :          | CO-759         | Longitud   | :          | 71° 14' 14" | W          | Provincia  | :          | Canchis    |            |            |            |
|                 |            |                | Altitud    | :          | 3,574       | msnm       | Distrito   | :          | Sicuani    |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>     | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b>  | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 102.3      | 131.0          | 97.0       | 15.5       | 0.0         | 0.0        | 0.0        | 4.2        | 1.7        | 92.2       | 67.4       | 89.2       |
| 1,999           | 129.6      | 180.0          | 121.9      | 15.6       | 7.2         | 6.0        | 4.4        | 1.7        | 18.6       | 76.4       | 25.2       | 92.6       |
| 2,000           | 110.4      | 180.0          | 121.9      | 15.6       | 7.2         | 6.0        | 4.4        | 1.7        | 18.6       | 254.0      | 114.0      | 92.6       |
| 2,001           | 213.0      | 158.1          | 177.2      | 55.3       | 25.9        | 1.2        | 13.9       | 10.5       | 33.7       | 48.3       | 76.2       | 134.4      |
| 2,002           | 154.7      | 205.2          | 145.7      | 117.7      | 32.9        | 0.0        | 26.1       | 4.7        | 37.4       | 75.9       | 86.9       | 141.5      |
| 2,003           | 129.2      | 131.8          | 160.0      | 59.6       | 18.7        | 6.6        | 0.0        | 8.0        | 1.6        | 37.5       | 27.2       | 125.5      |
| 2,004           | 162.6      | 191.0          | 80.4       | 47.0       | 7.6         | 8.2        | 4.2        | 12.0       | 51.6       | 28.9       | 92.4       | 98.4       |
| 2,005           | 66.3       | 173.5          | 120.3      | 44.9       | 4.5         | 0.0        | 2.7        | 0.0        | 7.6        | 48.3       | 74.2       | 93.2       |
| 2,006           | 151.2      | 120.6          | 92.8       | 99.0       | 3.3         | 5.7        | 0.0        | 10.3       | 23.3       | 45.5       | 111.3      | 106.0      |
| 2,007           | 115.8      | 86.9           | 174.2      | 45.1       | 5.3         | 0.0        | 9.0        | 0.0        | 15.2       | 60.7       | 77.0       | 73.8       |
| 2,008           | 137.3      | 133.5          | 117.9      | 21.6       | 7.0         | 0.7        | 0.6        | 0.6        | 2.6        | 84.1       | 61.6       | 149.0      |
| 2,009           | 89.8       | 140.6          | 85.8       | 37.6       | 5.7         | 0.0        | 2.7        | 0.0        | 11.1       | 38.5       | 129.0      | 121.1      |
| N° Datos        | 12         | 12             | 12         | 12         | 12          | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         |
| Media           | 130.2      | 152.7          | 124.6      | 47.9       | 10.4        | 2.9        | 5.7        | 4.5        | 18.6       | 74.2       | 78.5       | 109.8      |
| Desv. Estándar  | 38.2       | 34.3           | 33.4       | 32.5       | 10.0        | 3.3        | 7.6        | 4.6        | 15.7       | 60.1       | 31.7       | 23.8       |
| Coef. Variación | 29.4       | 22.5           | 26.8       | 67.9       | 95.6        | 114.5      | 134.8      | 102.2      | 84.5       | 81.1       | 40.4       | 21.7       |
| Prec. Max.      | 213.0      | 205.2          | 177.2      | 117.7      | 32.9        | 8.2        | 26.1       | 12.0       | 51.6       | 254.0      | 129.0      | 149.0      |
| Prec. Min.      | 66.3       | 86.9           | 80.4       | 15.5       | 0.0         | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 1.6        | 28.9       | 25.2       | 73.8       |

**Tabla 36: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Tambobamba**

|          |   |                   |          |   |             |      |           |   |            |
|----------|---|-------------------|----------|---|-------------|------|-----------|---|------------|
| Estación | : | <b>TAMBOBAMBA</b> | Latitud  | : | 13°56'41.7" | S    | Región    | : | Apurímac   |
| Tipo     | : | CO - 811          | Longitud | : | 72°10'30.8" | W    | Provincia | : | Cotabambas |
|          |   |                   | Altitud  | : | 3,317       | msnm | Distrito  | : | Tambobamba |

| AÑO   | ENE   | FEB          | MAR          | ABR          | MAY  | JUN | JUL  | AGO        | SET  | OCT   | NOV   | DIC          |
|-------|-------|--------------|--------------|--------------|------|-----|------|------------|------|-------|-------|--------------|
| 1,998 | 279.8 | 202.9        | <b>181.2</b> | <b>133.2</b> | 0.0  | 2.4 | 0.0  | 5.7        | 7.1  | 67.9  | 78.8  | 74.4         |
| 1,999 | 163.3 | 165.9        | 177.1        | 84.4         | 2.3  | 0.0 | 0.7  | 4.3        | 37.8 | 21.7  | 24.6  | 171.9        |
| 2,000 | 180.4 | 233.7        | 122.5        | 47.4         | 26.5 | 5.1 | 4.9  | 19.1       | 29.1 | 93.8  | 42.6  | 202.1        |
| 2,001 | 325.6 | 293.9        | 181.3        | 38.7         | 14.8 | 3.0 | 14.8 | 9.1        | 17.0 | 75.9  | 92.7  | 78.4         |
| 2,002 | 193.5 | 260.1        | 214.9        | 83.8         | 18.0 | 7.2 | 13.4 | 2.5        | 40.5 | 120.5 | 75.3  | 160.0        |
| 2,003 | 224.3 | 143.5        | 152.6        | 46.3         | 14.1 | 1.2 | 0.0  | 22.8       | 26.2 | 35.1  | 51.9  | 200.5        |
| 2,004 | 224.7 | 250.8        | 71.6         | 46.1         | 7.6  | 1.9 | 15.3 | 22.2       | 53.1 | 62.3  | 60.0  | 256.2        |
| 2,005 | 144.0 | 209.5        | 151.7        | <b>49.5</b>  | 0.0  | 0.0 | 2.4  | 6.0        | 4.2  | 105.1 | 74.9  | 150.6        |
| 2,006 | 210.2 | 169.0        | 155.4        | 98.7         | 0.0  | 8.8 | 0.0  | 0.0        | 0.5  | 55.2  | 111.9 | 135.7        |
| 2,007 | 149.9 | 160.1        | 216.2        | 30.7         | 0.0  | 0.0 | 5.0  | 0.0        | 0.0  | 35.2  | 117.2 | 165.0        |
| 2,008 | 199.3 | 141.4        | 72.5         | 25.8         | 4.0  | 1.0 | 0.0  | 3.2        | 22.4 | 65.5  | 100.0 | 205.0        |
| 2,009 | 167.0 | 171.1        | 80.2         | 31.5         | 4.8  | 0.0 | 2.0  | <b>8.9</b> | 16.4 | 99.8  | 237.3 | 170.6        |
| 2,010 | 229.1 | 167.5        | 103.4        | 23.9         | 34.2 | 0.0 | 0.0  | 0.0        | 7.4  | 37.4  | 65.8  | 173.2        |
| 2,011 | 160.9 | 261.5        | 246.9        | 47.7         | 3.5  | 0.0 | 3.4  | 5.6        | 56.9 | 42.8  | 51.2  | 149.2        |
| 2,012 | 221.0 | 254.3        | 232.6        | 85.2         | 3.0  | 5.8 | 1.4  | 0.0        | 19.0 | 110.4 | 139.3 | 337.5        |
| 2,013 | 138.5 | 217.6        | 121.0        | 38.6         | 0.5  | 9.9 | 3.4  | 23.8       | 16.4 | 131.9 | 139.9 | 231.6        |
| 2,014 | 229.3 | 187.2        | 143.9        | 43.5         | 33.2 | 0.0 | 4.8  | 1.4        | 29.6 | 55.7  | 59.0  | 194.8        |
| 2,015 | 255.4 | 193.1        | 180.1        | 110.5        | 6.1  | 1.3 | 5.4  | 24.7       | 19.4 | 46.1  | 94.8  | 185.1        |
| 2,016 | 147.2 | <b>142.9</b> | 108.5        | 96.7         | 4.8  | 2.4 | 7.7  | 9.1        | 25.1 | 100.7 | 64.7  | <b>130.5</b> |

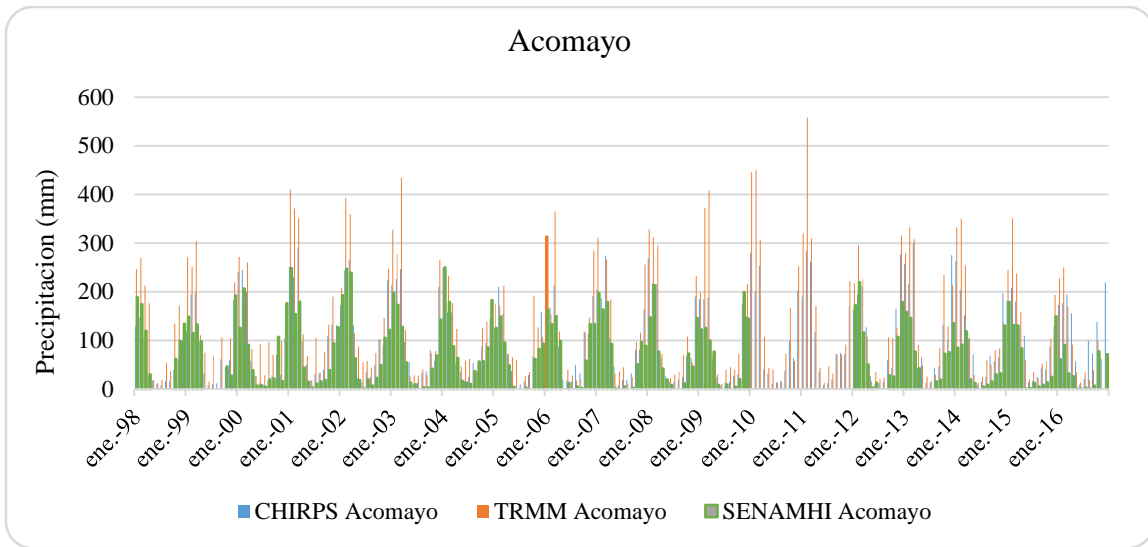
  

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Nº Datos        | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19    | 19   | 19    | 19    | 19    |
| Media           | 202.3 | 201.4 | 153.3 | 61.2  | 9.3   | 2.6   | 4.5   | 8.9   | 22.5 | 71.7  | 88.5  | 177.5 |
| Desv. Estándar  | 50.1  | 46.5  | 53.1  | 32.2  | 11.2  | 3.2   | 5.0   | 9.0   | 16.2 | 32.7  | 47.8  | 59.4  |
| Coef. Variación | 24.8  | 23.1  | 34.6  | 52.6  | 119.6 | 121.4 | 112.5 | 101.0 | 71.8 | 45.6  | 54.0  | 33.5  |
| Prec. Max.      | 325.6 | 293.9 | 246.9 | 133.2 | 34.2  | 9.9   | 15.3  | 24.7  | 56.9 | 131.9 | 237.3 | 337.5 |
| Prec. Min.      | 138.5 | 141.4 | 71.6  | 23.9  | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0  | 21.7  | 24.6  | 74.4  |

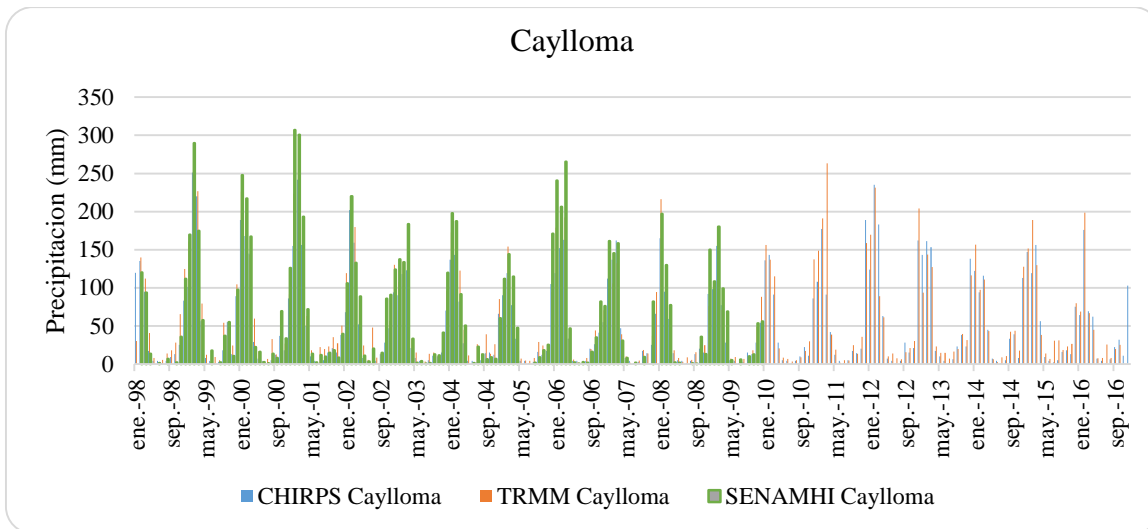
**Tabla 37: Registro histórico de precipitación total mensual – estación Yauri**

|                 |            |              |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Estación        | :          | <b>YAURI</b> | Latitud    | :          | 14° 49' 1" | S          | Región     | :          | Cusco      |            |            |            |
| Tipo            | :          | PLU          | Longitud   | :          | 71° 25' 1" | W          | Provincia  | :          | Espinar    |            |            |            |
|                 |            |              | Altitud    | :          | 3,927      | msnm       | Distrito   | :          | Espinar    |            |            |            |
| <b>AÑO</b>      | <b>ENE</b> | <b>FEB</b>   | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DIC</b> |
| 1,998           | 217.2      | 150.4        | 89.8       | 13.8       | 0.0        | 2.5        | 0.0        | 3.6        | 0.8        | 43.6       | 54.1       | 50.2       |
| 1,999           | 125.7      | 235.9        | 159.8      | 129.1      | 3.6        | 3.6        | 0.0        | 0.0        | 47.3       | 52.9       | 45.3       | 145.7      |
| 2,000           | 160.7      | 183.4        | 155.8      | 38.5       | 4.2        | 5.6        | 0.0        | 12.7       | 6.2        | 78.5       | 26.8       | 168.3      |
| 2,001           | 285.4      | 230.5        | 260.3      | 99.5       | 32.0       | 0.9        | 4.3        | 4.8        | 4.2        | 30.7       | 15.6       | 67.5       |
| 2,002           | 111.4      | 294.3        | 148.0      | 67.6       | 24.7       | 1.0        | 16.7       | 0.0        | 40.5       | 56.0       | 95.8       | 142.8      |
| 2,003           | 171.1      | 236.0        | 195.1      | 36.9       | 5.7        | 0.8        | 0.0        | 5.5        | 34.8       | 11.1       | 73.4       | 131.4      |
| 2,004           | 215.7      | 167.5        | 84.4       | 48.4       | 0.0        | 1.8        | 10.7       | 15.7       | 25.0       | 25.7       | 56.7       | 105.3      |
| 2,005           | 113.9      | 176.5        | 123.2      | 43.1       | 1.1        | 0.0        | 0.0        | 15.3       | 5.6        | 55.9       | 41.9       | 162.2      |
| 2,006           | 295.0      | 122.7        | 175.4      | 45.8       | 0.8        | 5.4        | 0.0        | 9.7        | 18.6       | 59.1       | 64.1       | 122.6      |
| 2,007           | 129.7      | 133.6        | 108.1      | 58.6       | 4.6        | 0.0        | 3.4        | 0.0        | 16.3       | 36.3       | 43.6       | 117.7      |
| 2,008           | 197.9      | 107.5        | 72.5       | 1.2        | 4.9        | 5.8        | 0.0        | 0.0        | 0.2        | 43.4       | 24.8       | 103.3      |
| 2,009           | 102.0      | 164.6        | 102.2      | 44.5       | 5.5        | 0.0        | 1.4        | 0.0        | 2.0        | 51.1       | 176.1      | 133.9      |
| N° Datos        | 12         | 12           | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         | 12         |
| Media           | 177.1      | 183.6        | 139.6      | 52.3       | 7.3        | 2.3        | 3.0        | 5.6        | 16.8       | 45.4       | 59.9       | 120.9      |
| Desv. Estándar  | 66.3       | 55.4         | 54.2       | 34.5       | 10.2       | 2.3        | 5.3        | 6.2        | 16.6       | 17.7       | 42.8       | 35.3       |
| Coef. Variación | 37.4       | 30.2         | 38.9       | 66.1       | 140.4      | 99.3       | 175.8      | 110.8      | 98.9       | 39.1       | 71.5       | 29.2       |
| Prec. Max.      | 295.0      | 294.3        | 260.3      | 129.1      | 32.0       | 5.8        | 16.7       | 15.7       | 47.3       | 78.5       | 176.1      | 168.3      |
| Prec. Min.      | 102.0      | 107.5        | 72.5       | 1.2        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0.2        | 11.1       | 15.6       | 50.2       |

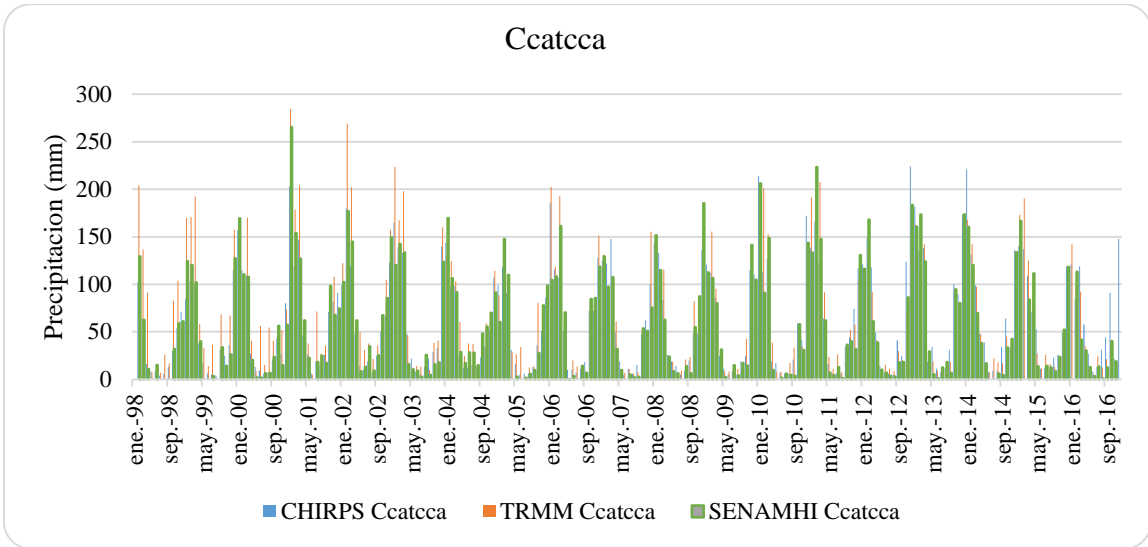
## Anexo 2: Series corregidas mediante el modelo multiplicativo / Punto – Grilla



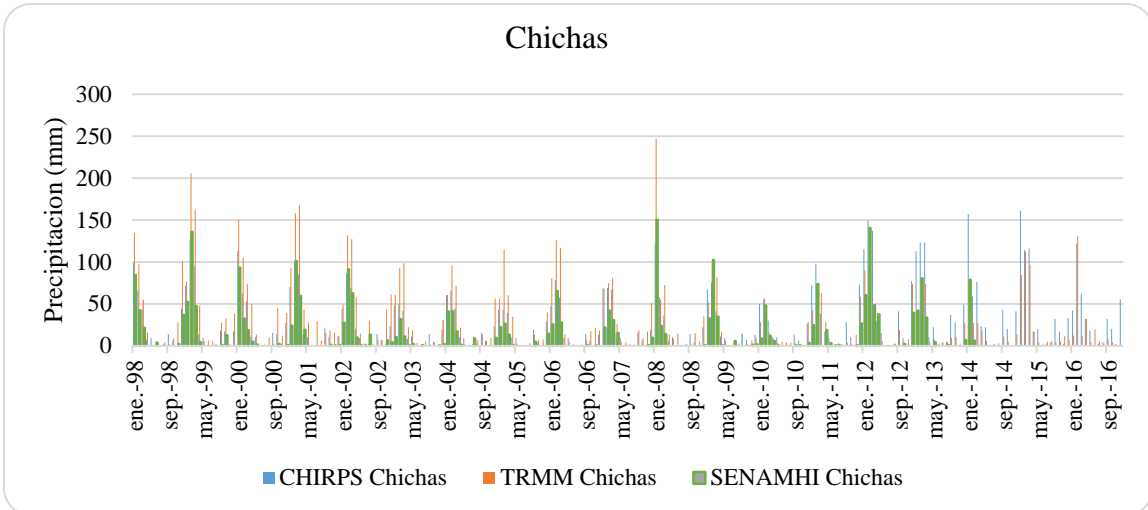
**Figura 27: Serie corregida estación Acomayo**



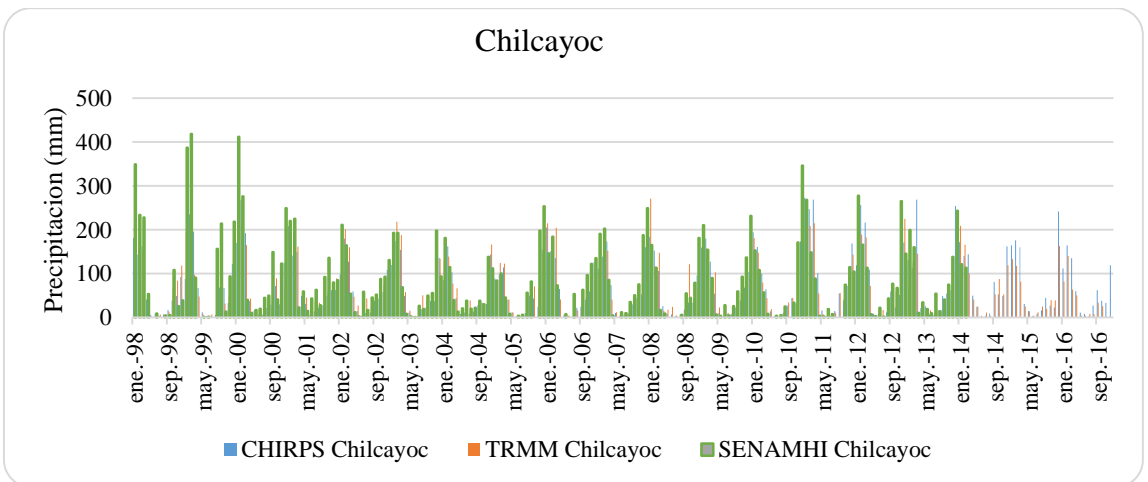
**Figura 28: Serie corregida estación Caylloma**



**Figura 29: Serie corregida estación Ccatcca**

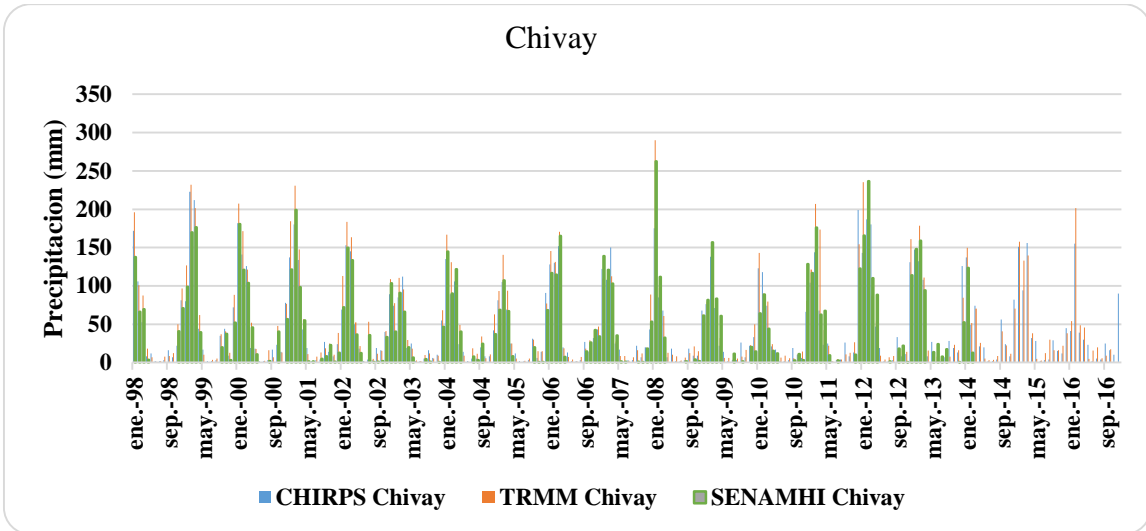


**Figura 30: Serie corregida estación Chichas**

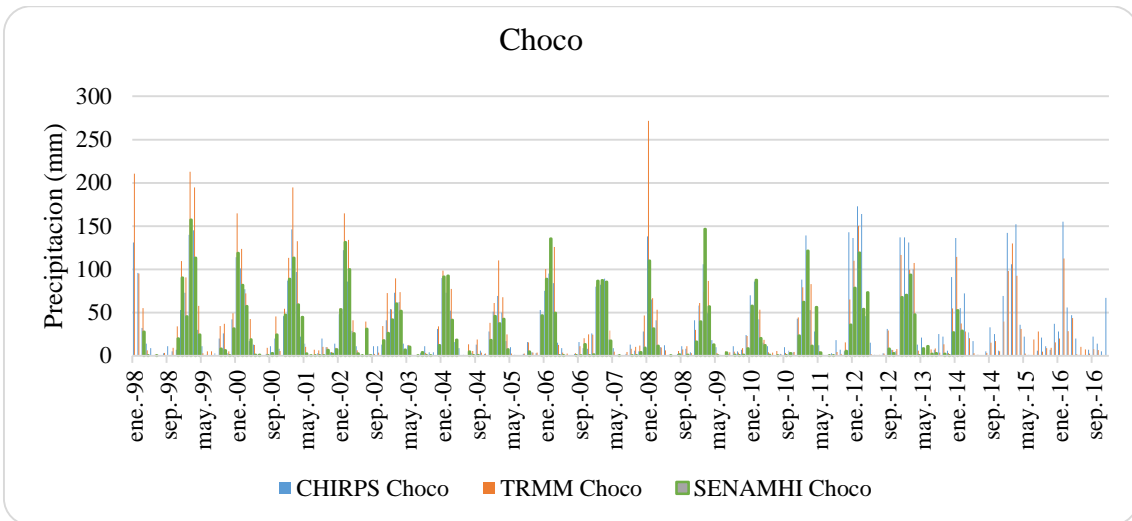


**Figura 31: Serie corregida estación Chilcayoc**

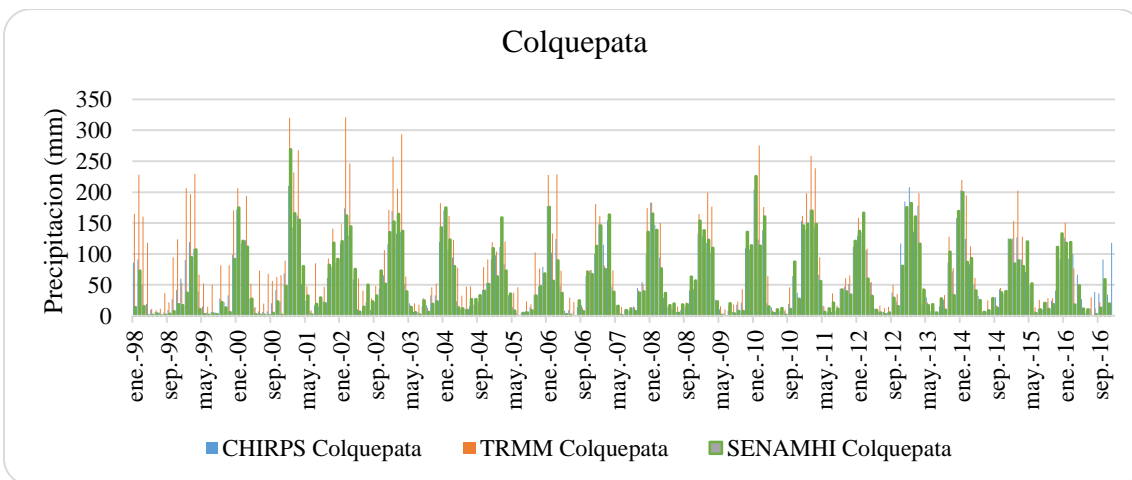




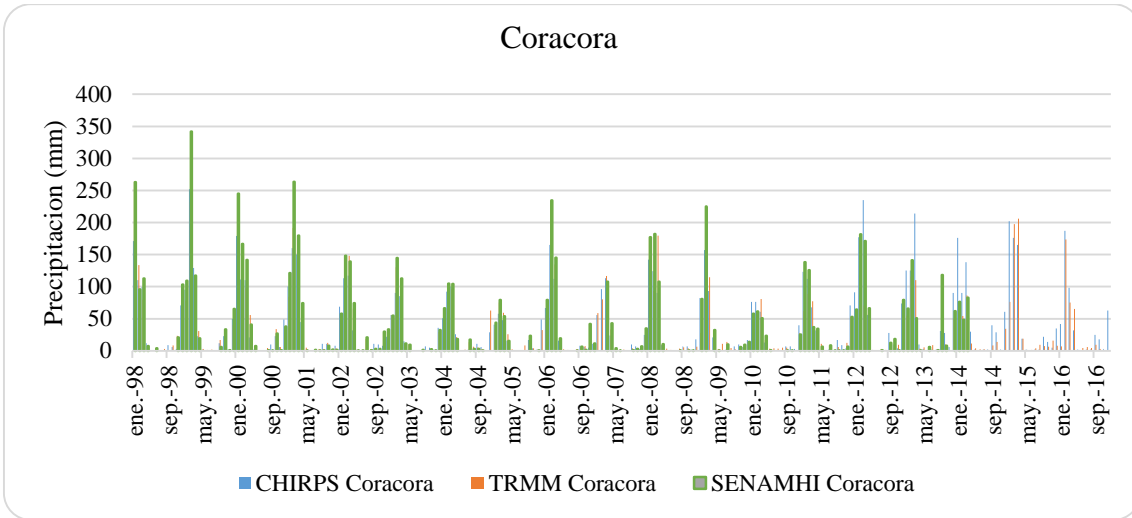
**Figura 32: Serie corregida estación Chivay**



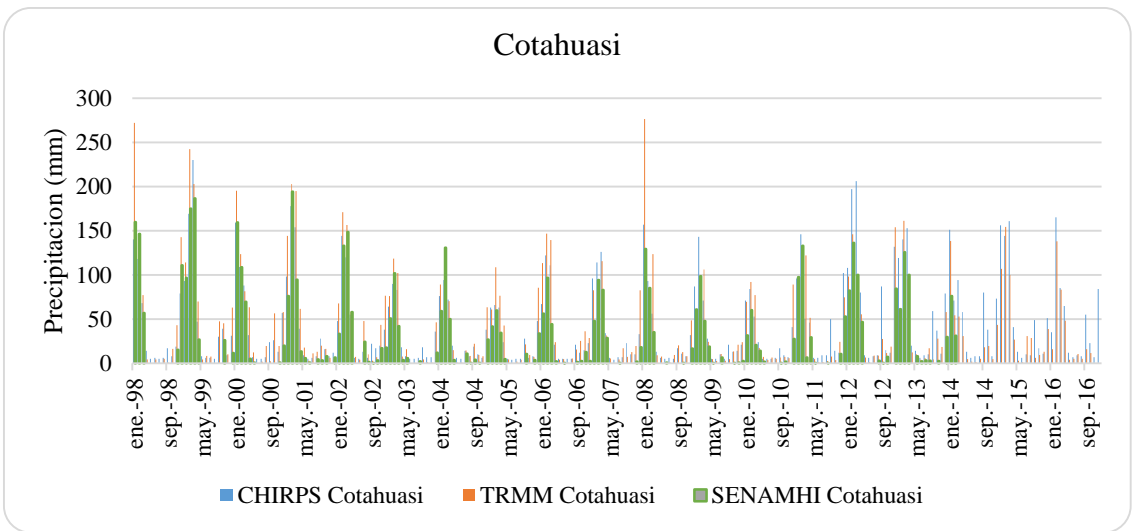
**Figura 33: Serie corregida estación Choco**



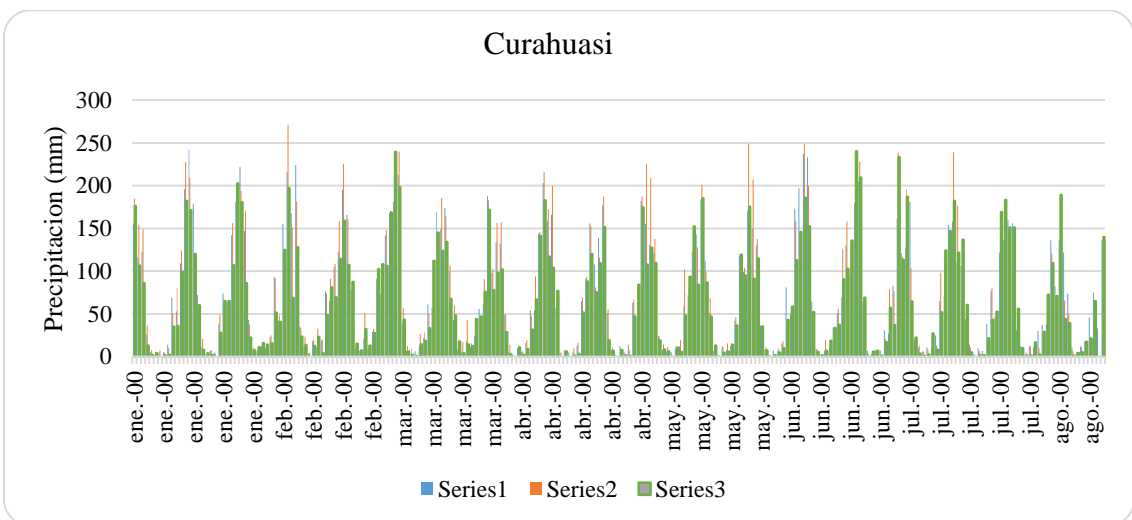
**Figura 34: Serie corregida estación Colquepata**



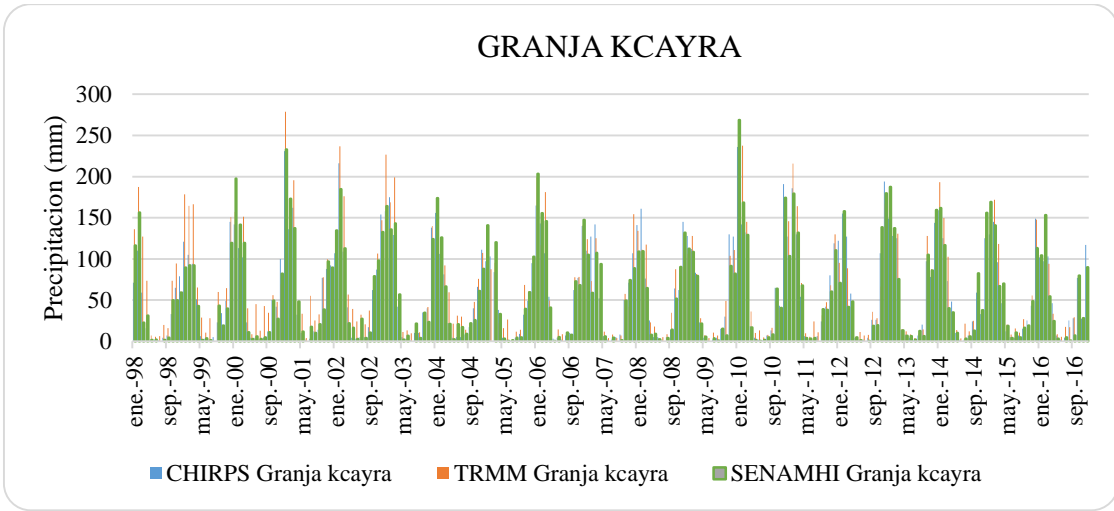
**Figura 35: Serie corregida estación Coracora**



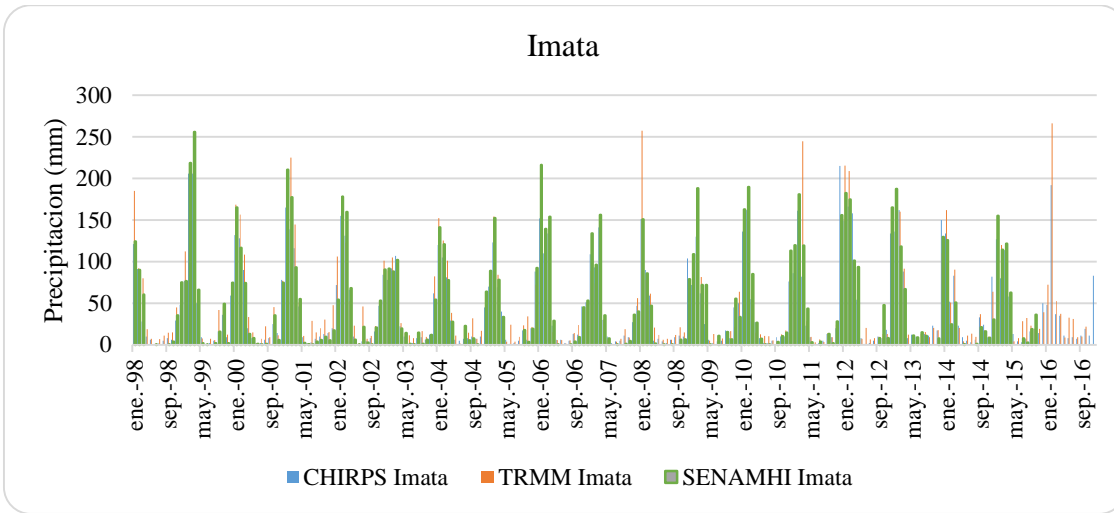
**Figura 36: Serie corregida estación Cotahuasi**



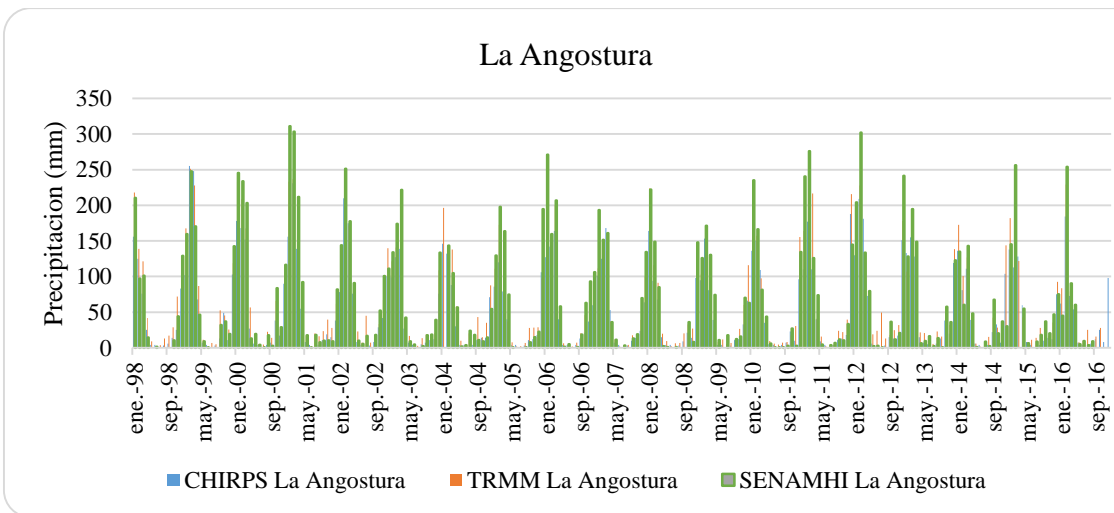
**Figura 37: Serie corregida estación Curahuasi**



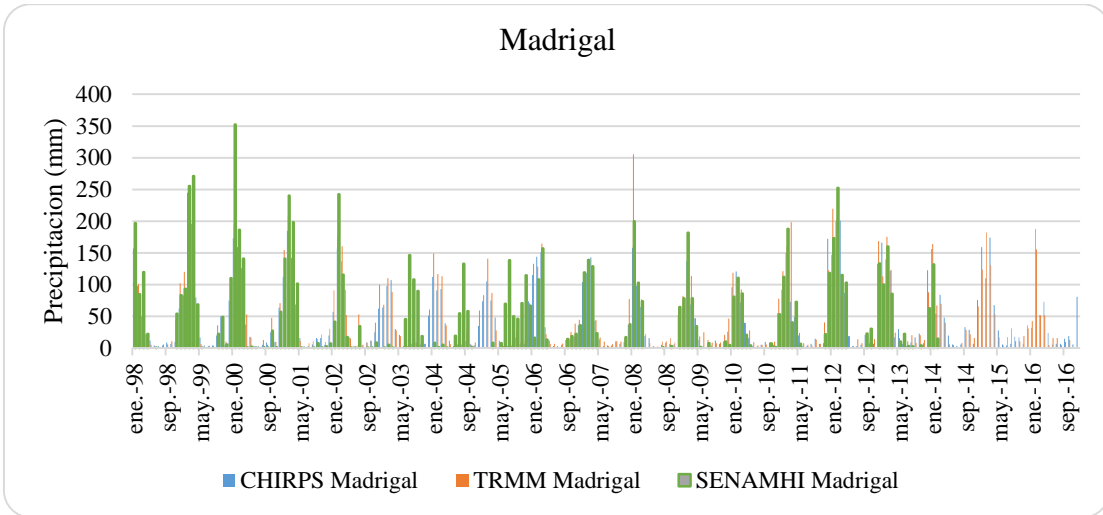
**Figura 38: Serie corregida estación Granja Kcayra**



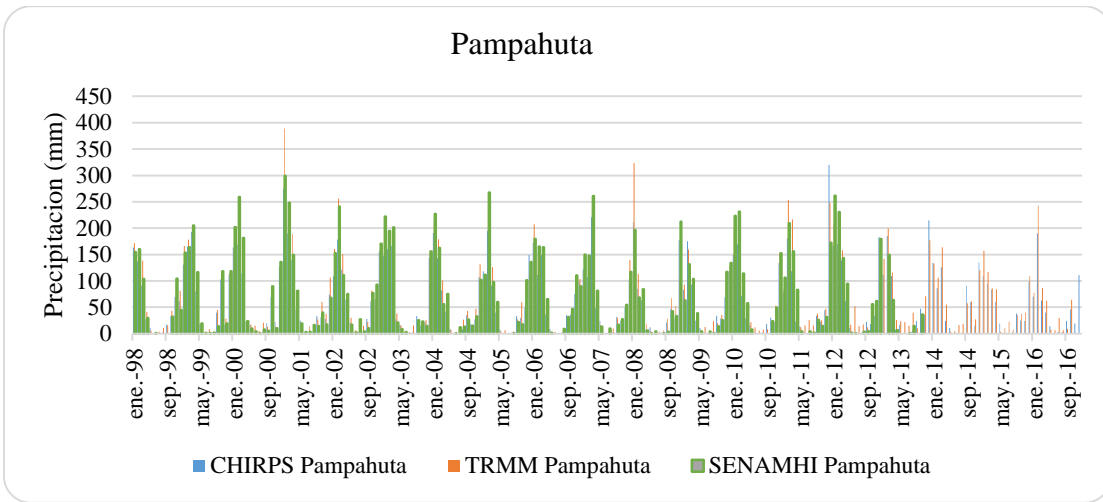
**Figura 39: Serie corregida estación Imata**



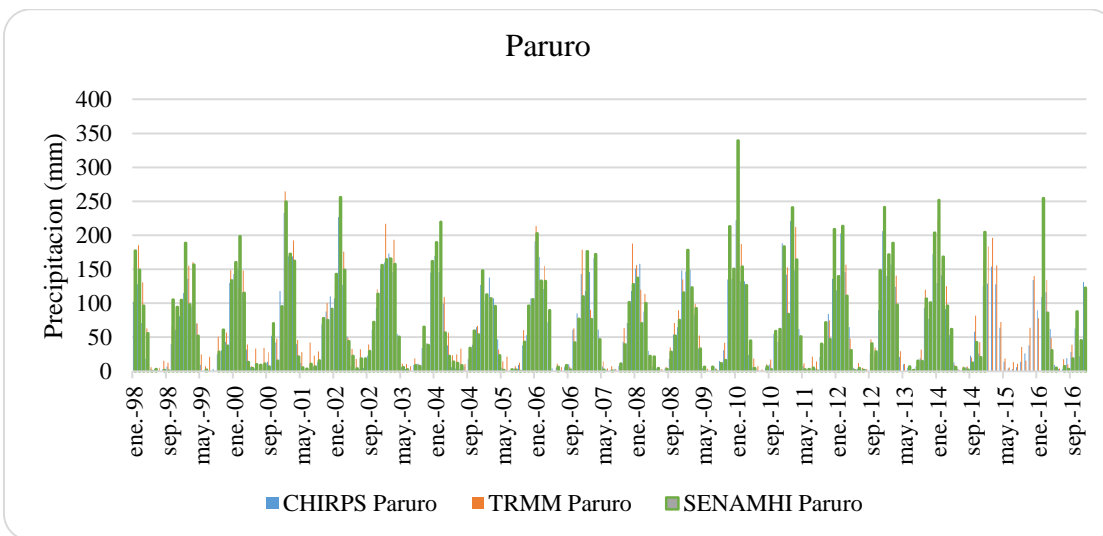
**Figura 40: Serie corregida estación La Angostura**



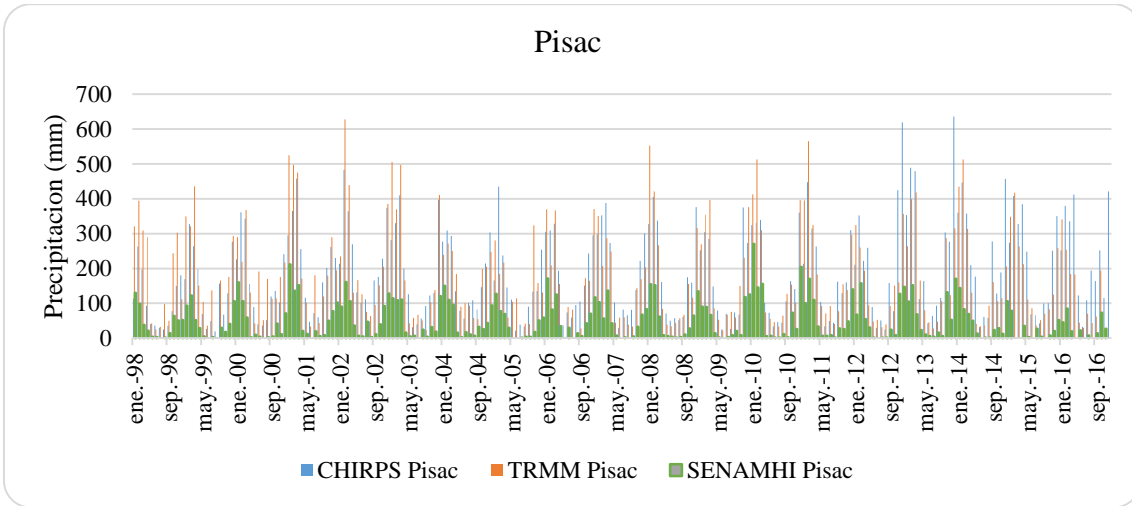
**Figura 41: Serie corregida estación Madrigal**



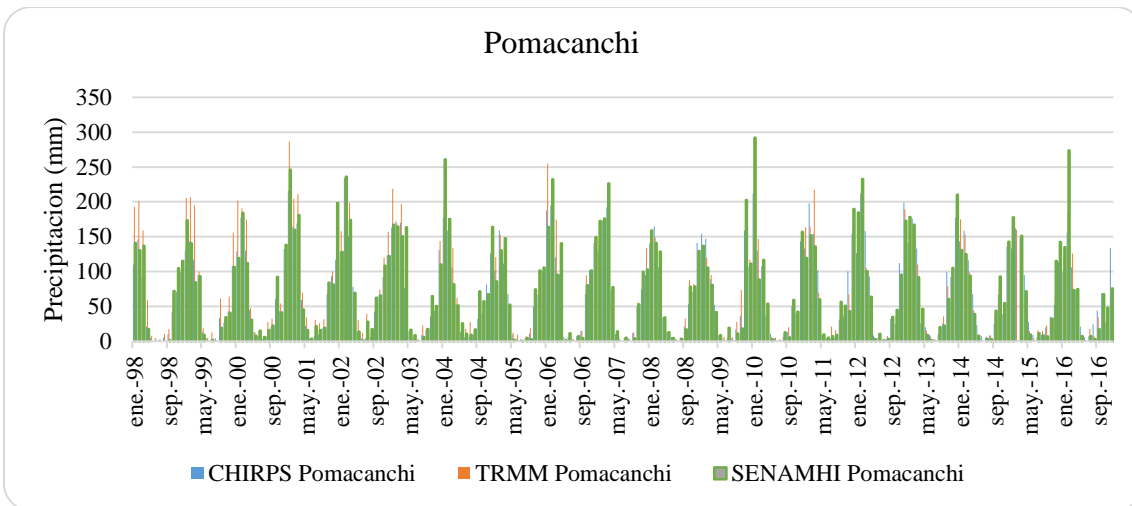
**Figura 42: Serie corregida estación Pampahuta**



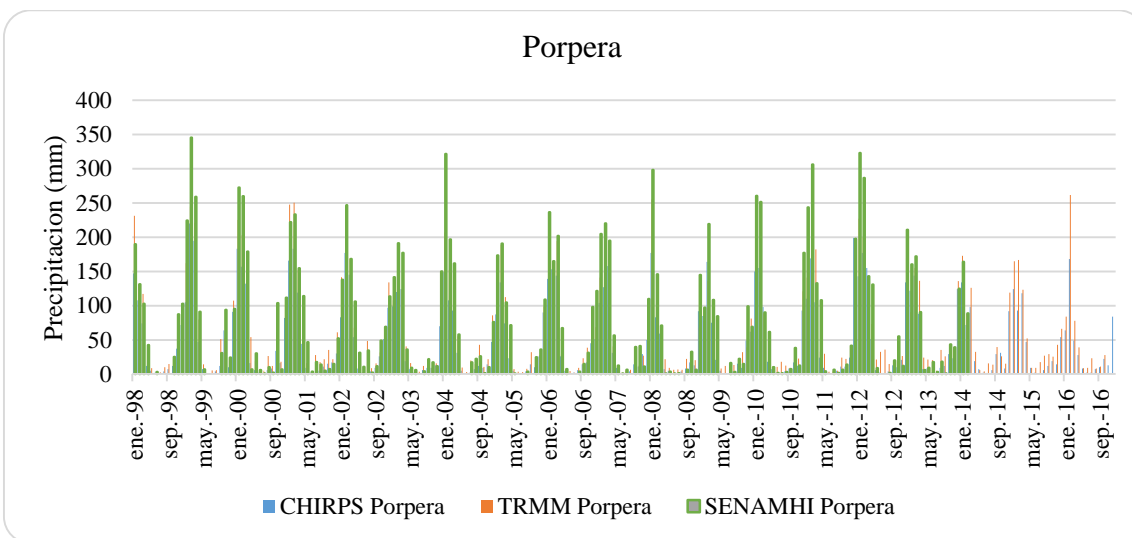
**Figura 43: Serie corregida estación Paruro**



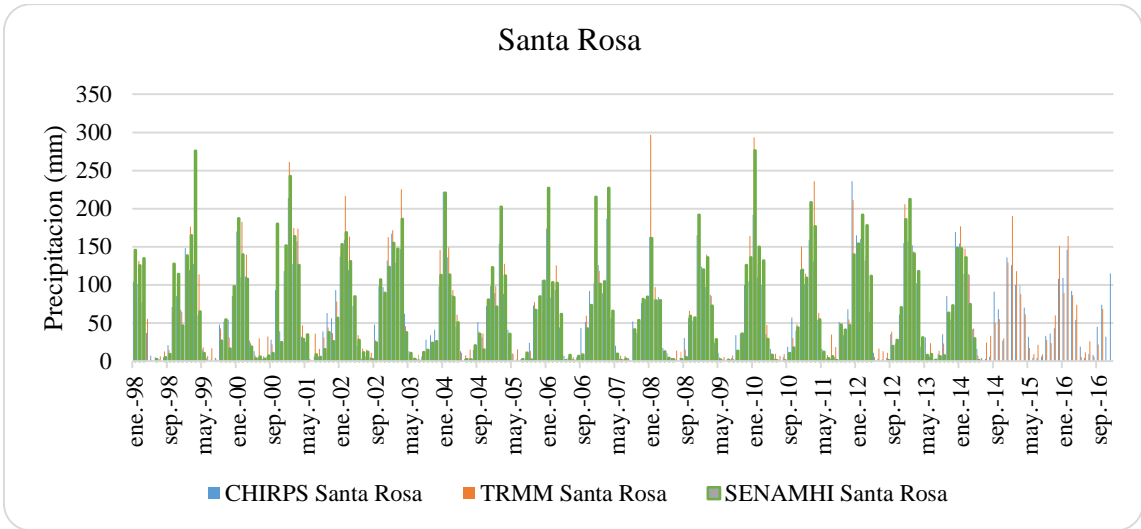
**Figura 44: Serie corregida estación Pisac**



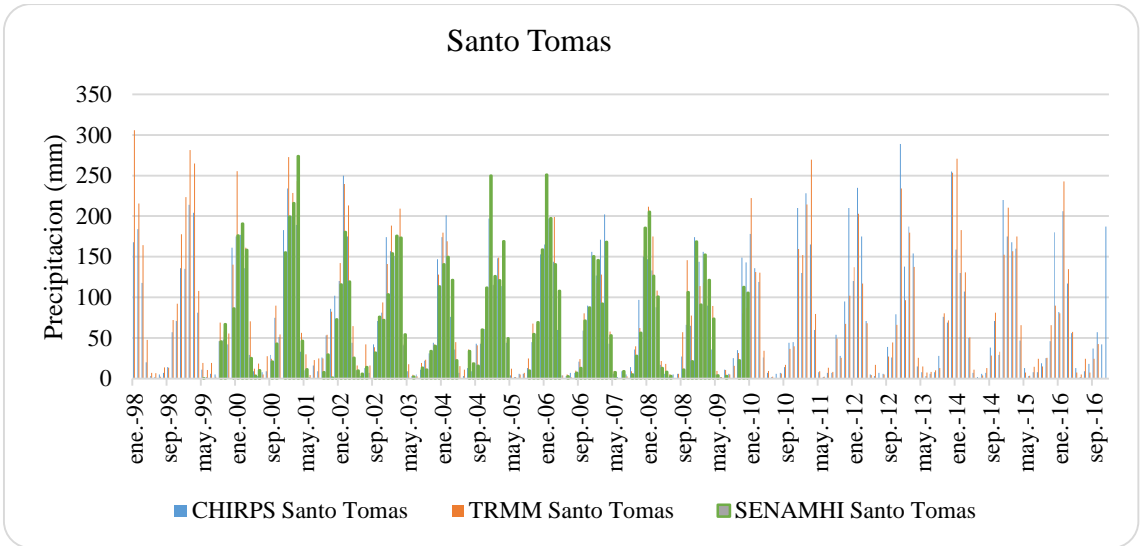
**Figura 45: Serie corregida estación Pomacanchi**



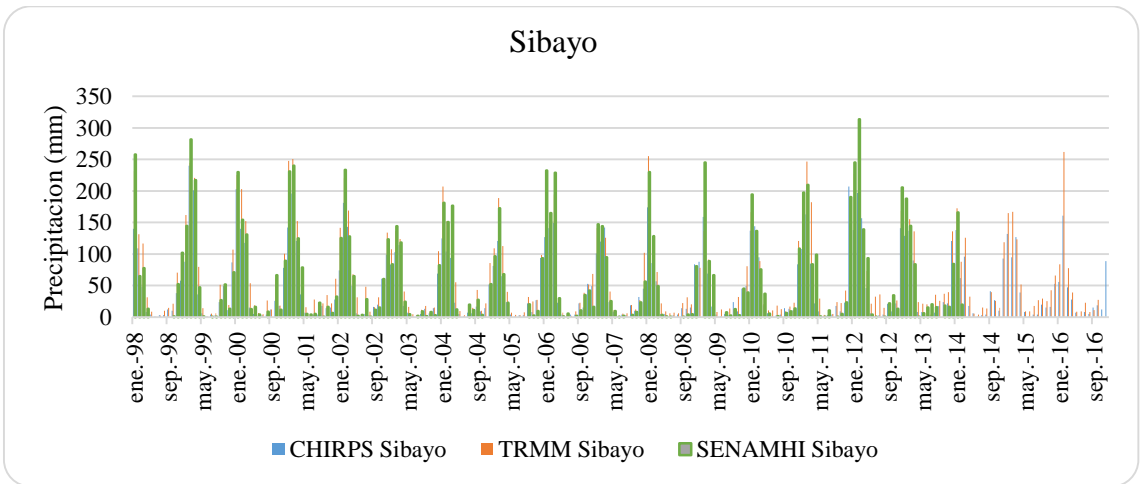
**Figura 46: Serie corregida estación Porpera**



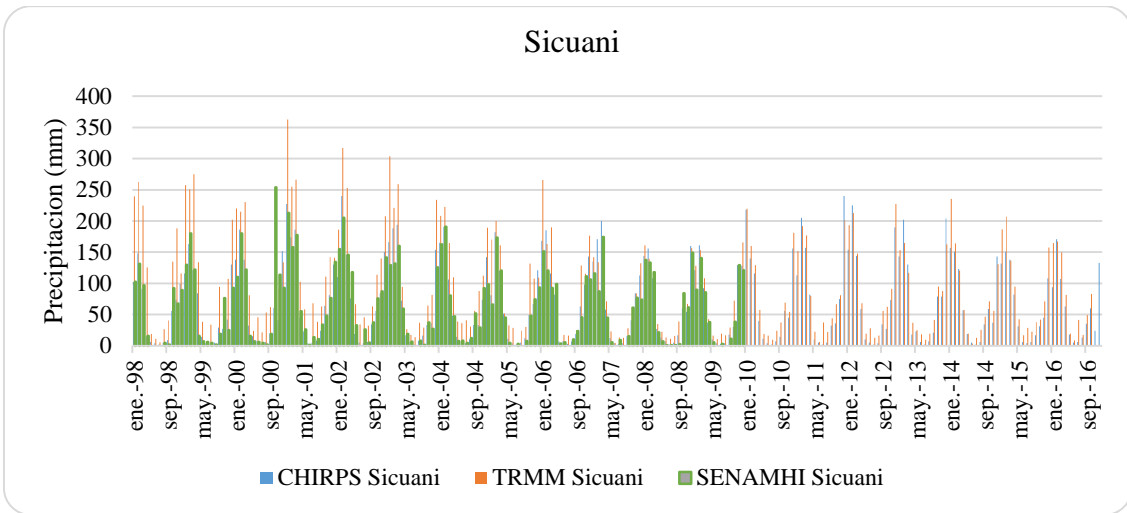
**Figura 47: Serie corregida estación Santa Rosa**



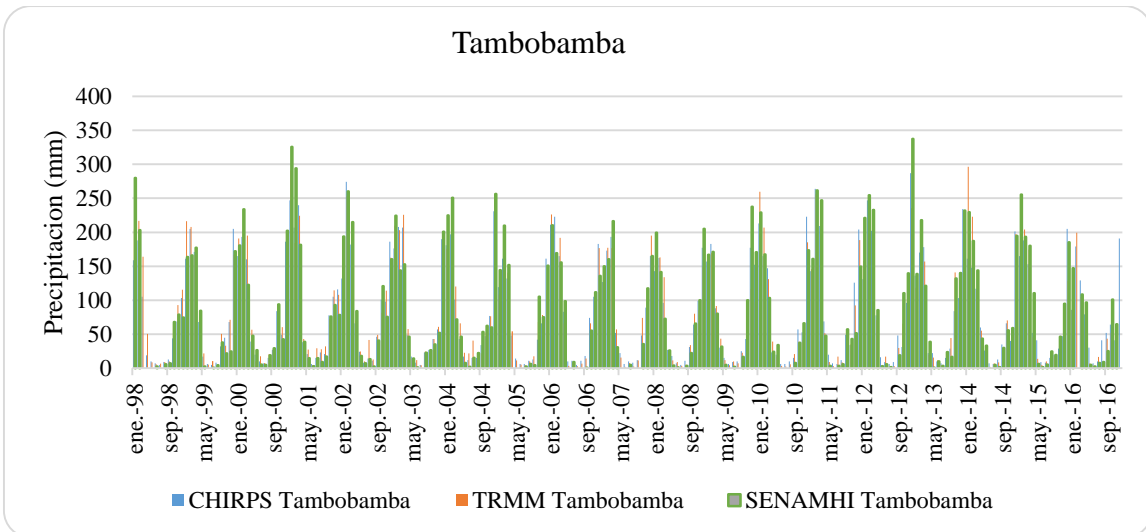
**Figura 48: Serie corregida estación Santo Tomas**



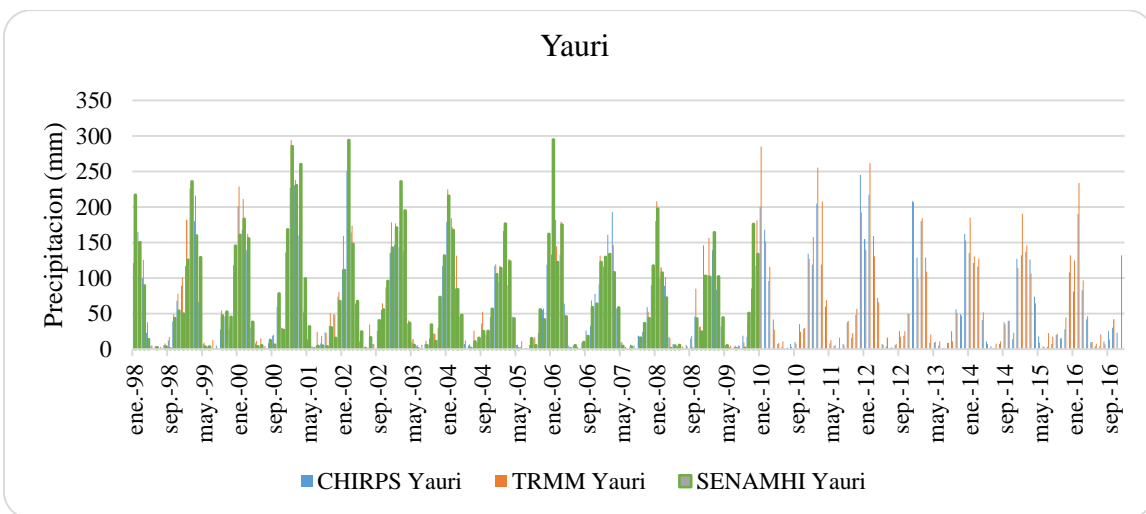
**Figura 49: Serie corregida estación Sibayo**



**Figura 50: Serie corregida estación Sicuni**

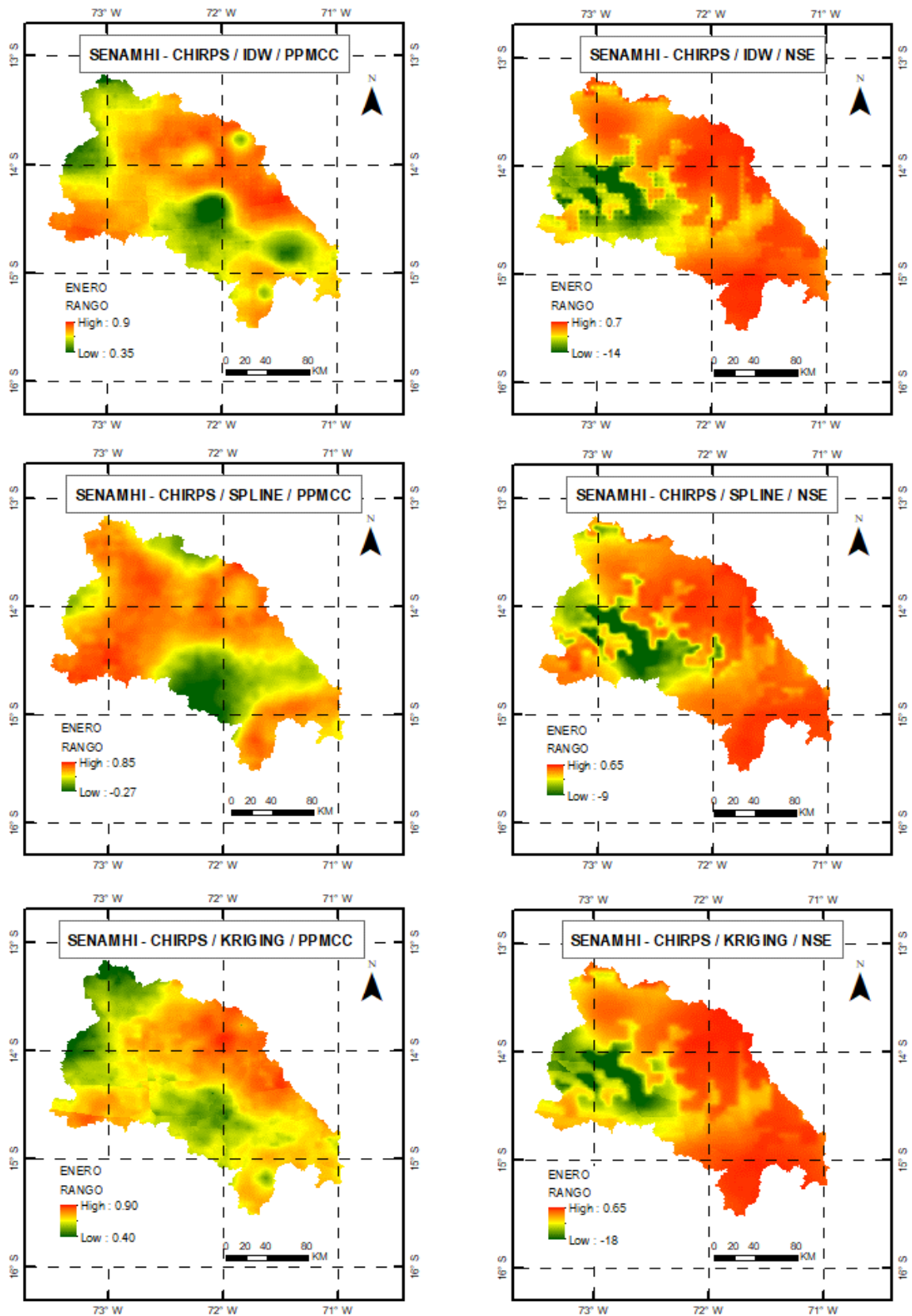


**Figura 51: Serie corregida estación Tambobamba**



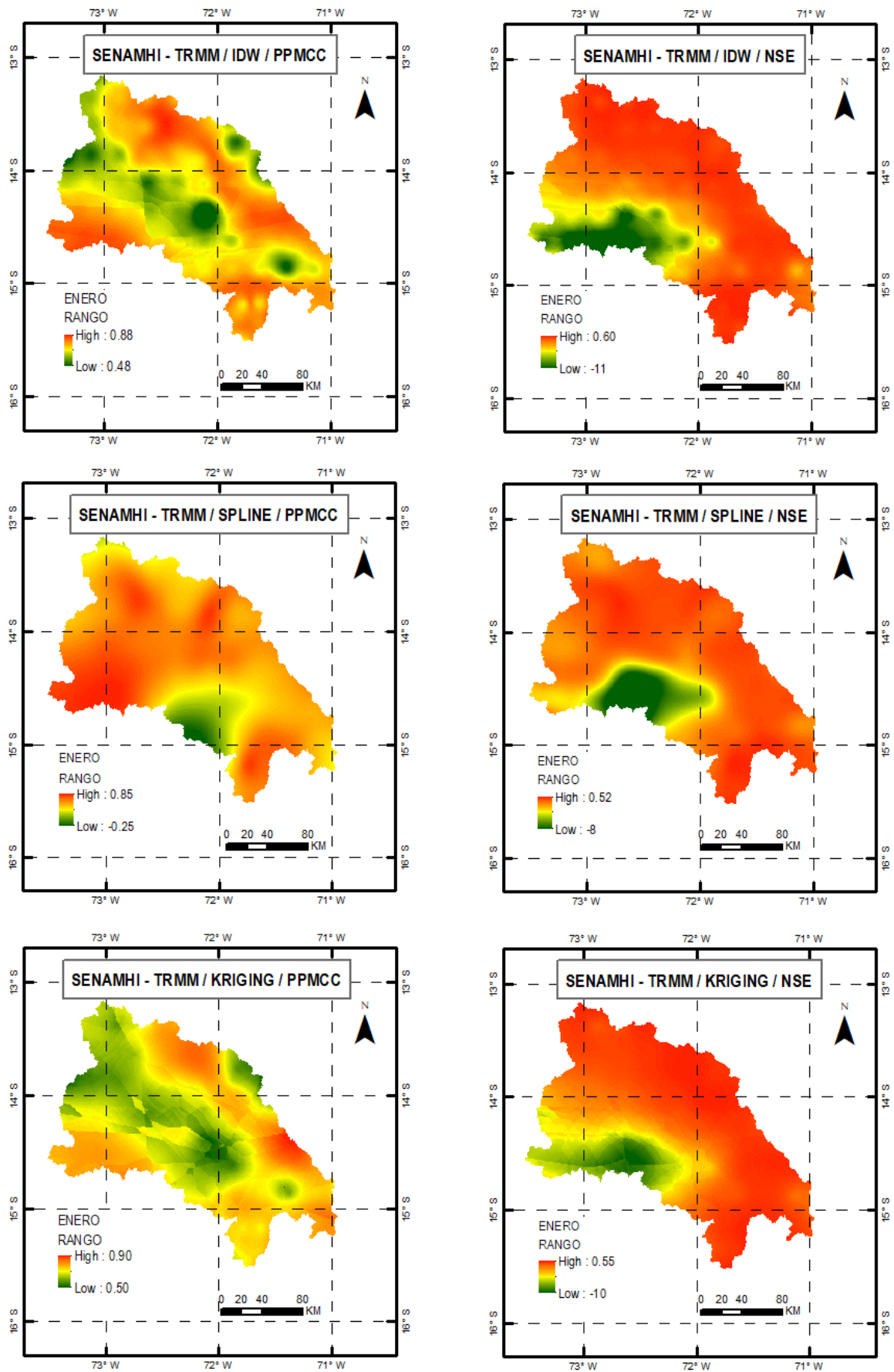
**Figura 52: Serie corregida estación Yauri**

**Anexo 3: Resultados de aplicación del coeficiente de correlación de Pearson (PPMCC) y el índice de eficiencia de Nash (NSE) para el producto CHIRPS en el mes de enero**

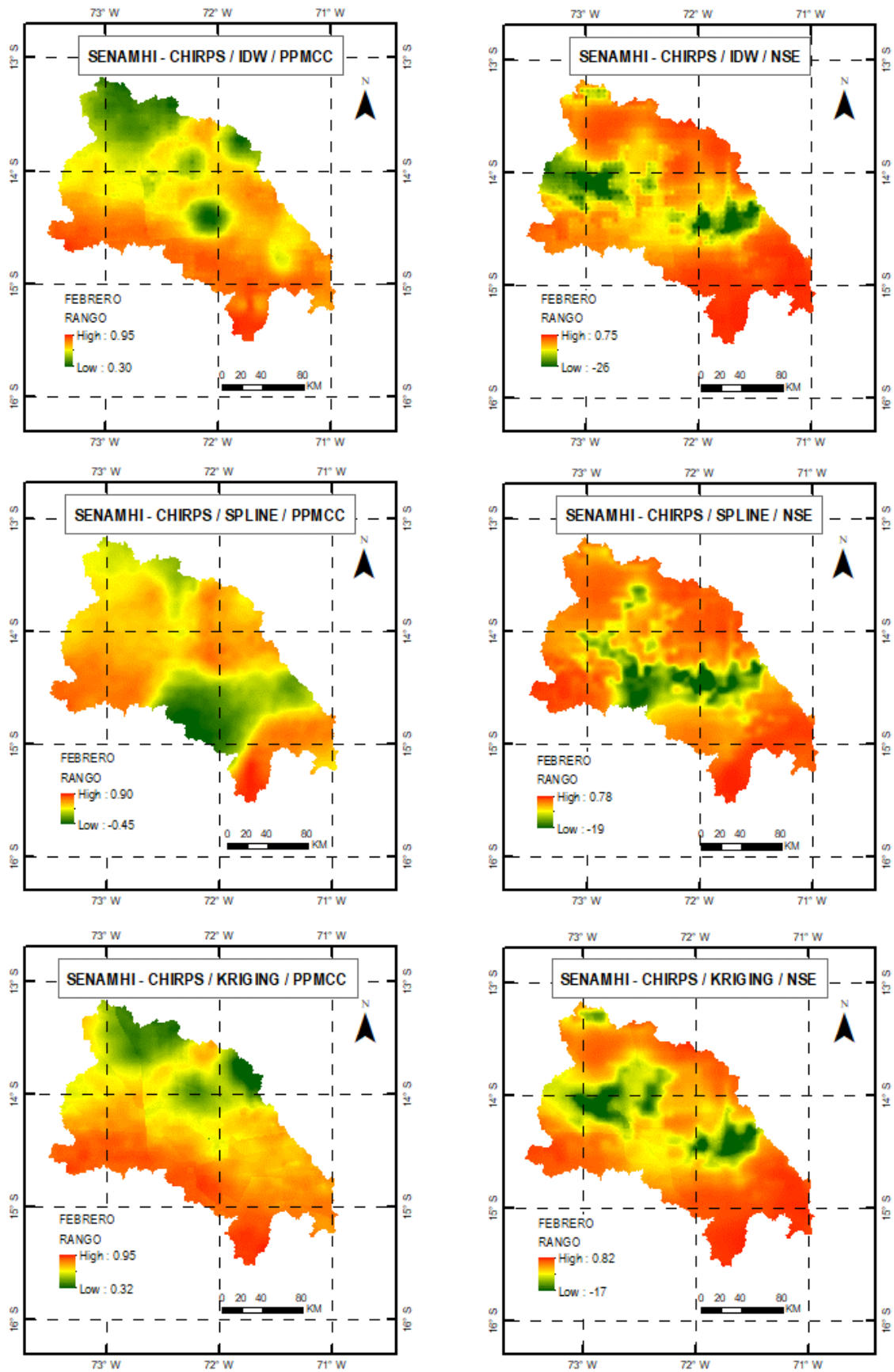


**Figura 53: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de enero**

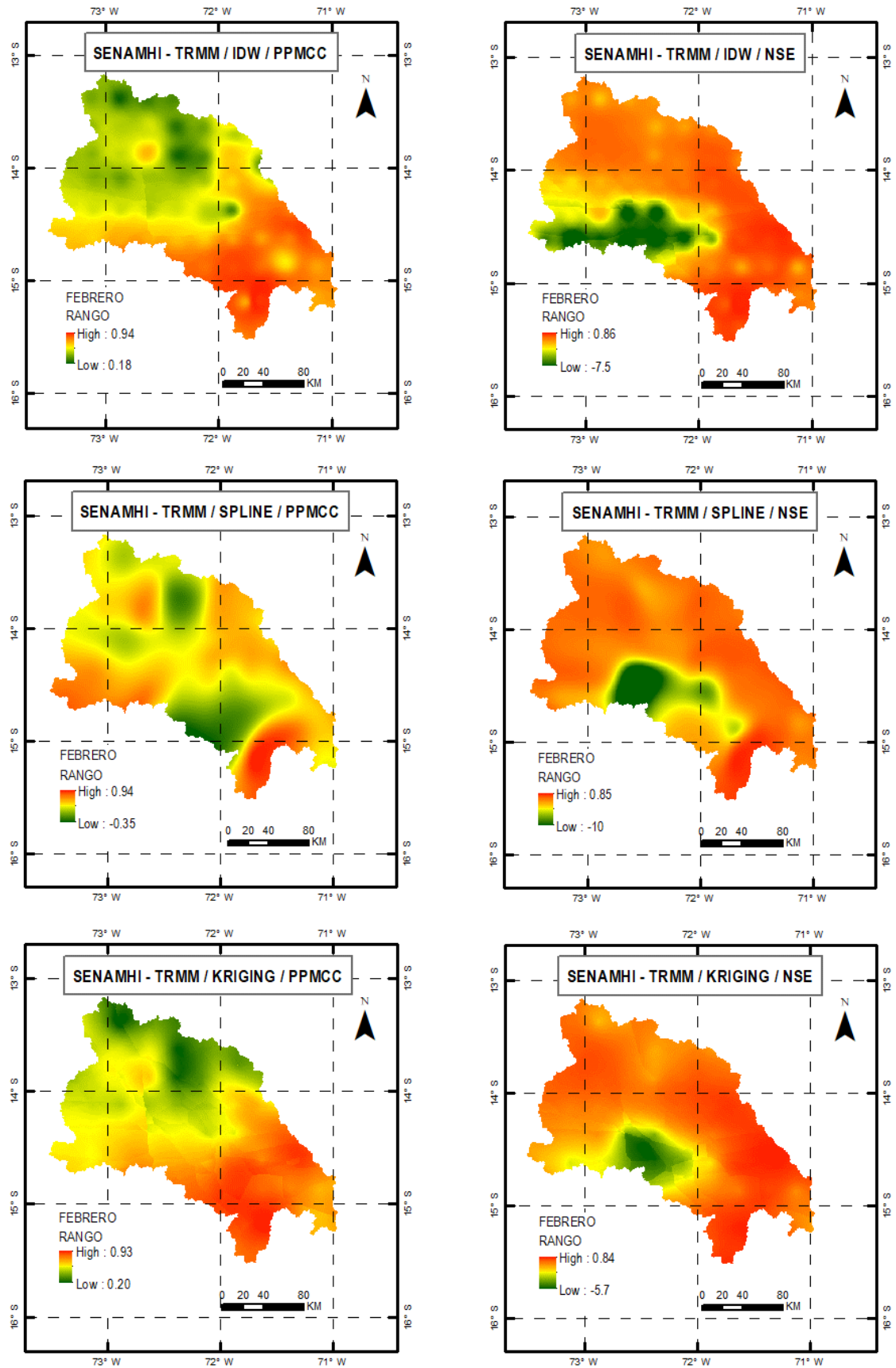




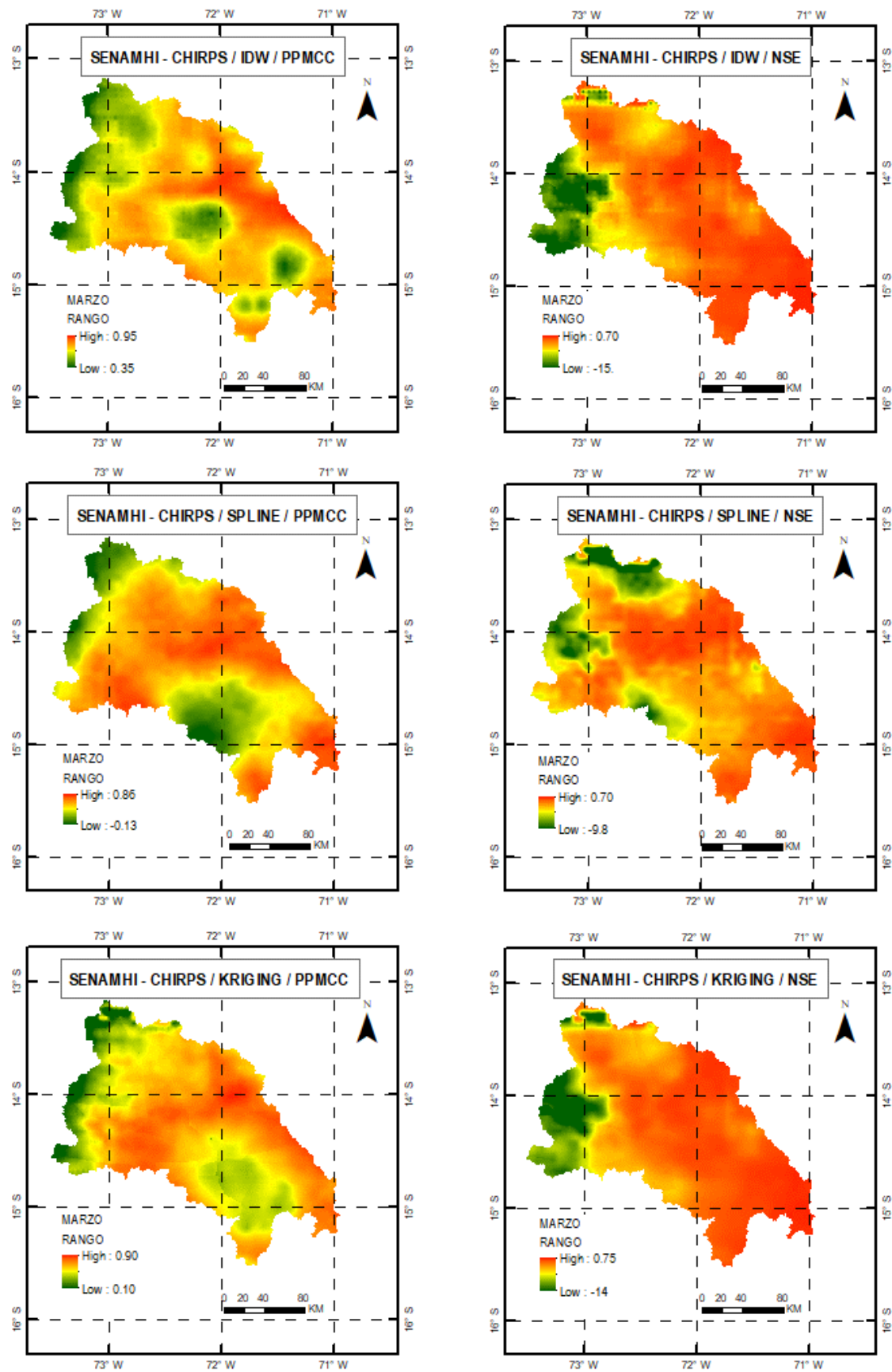
**Figura 54:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de enero



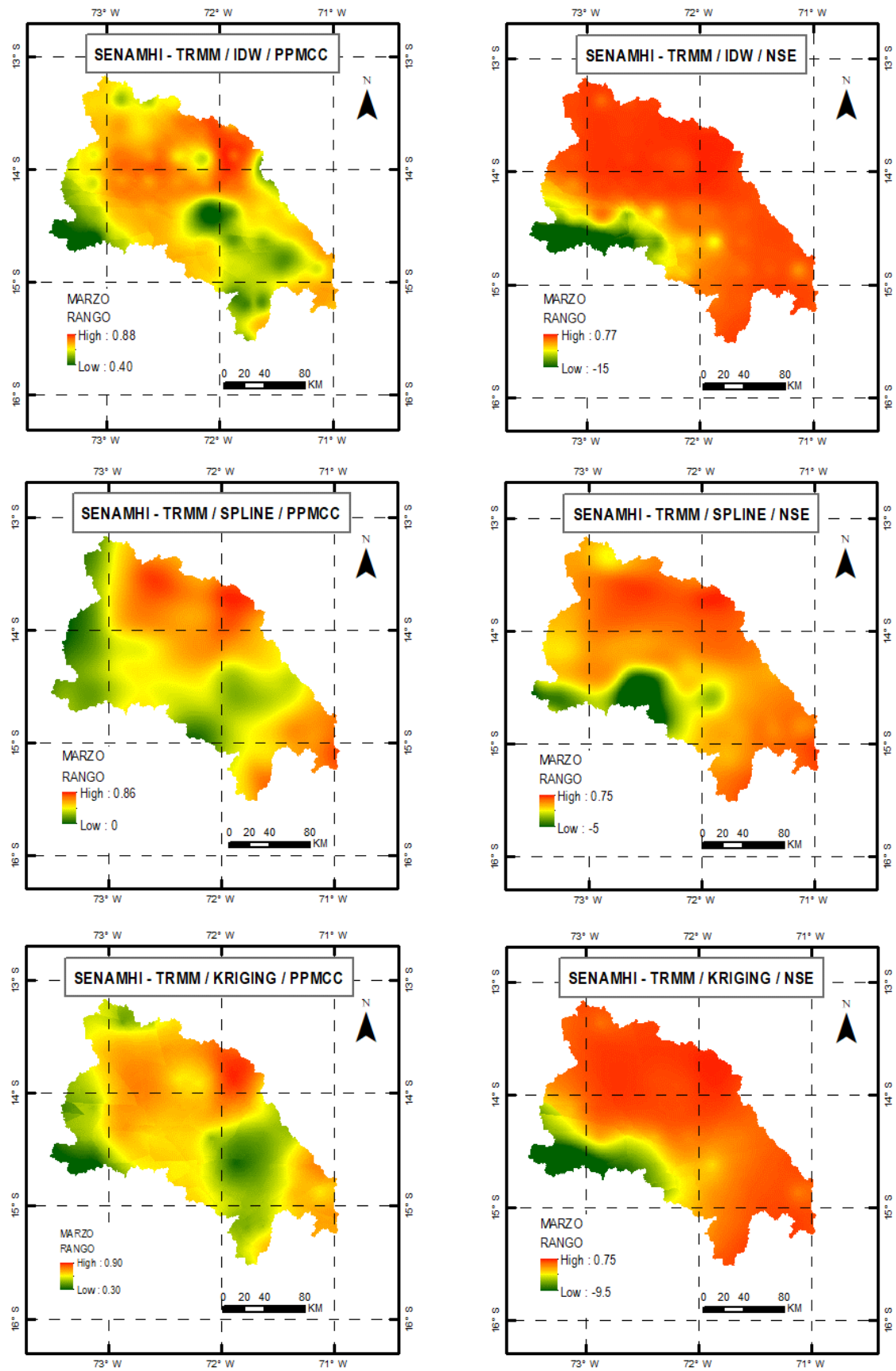
**Figura 55:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de febrero



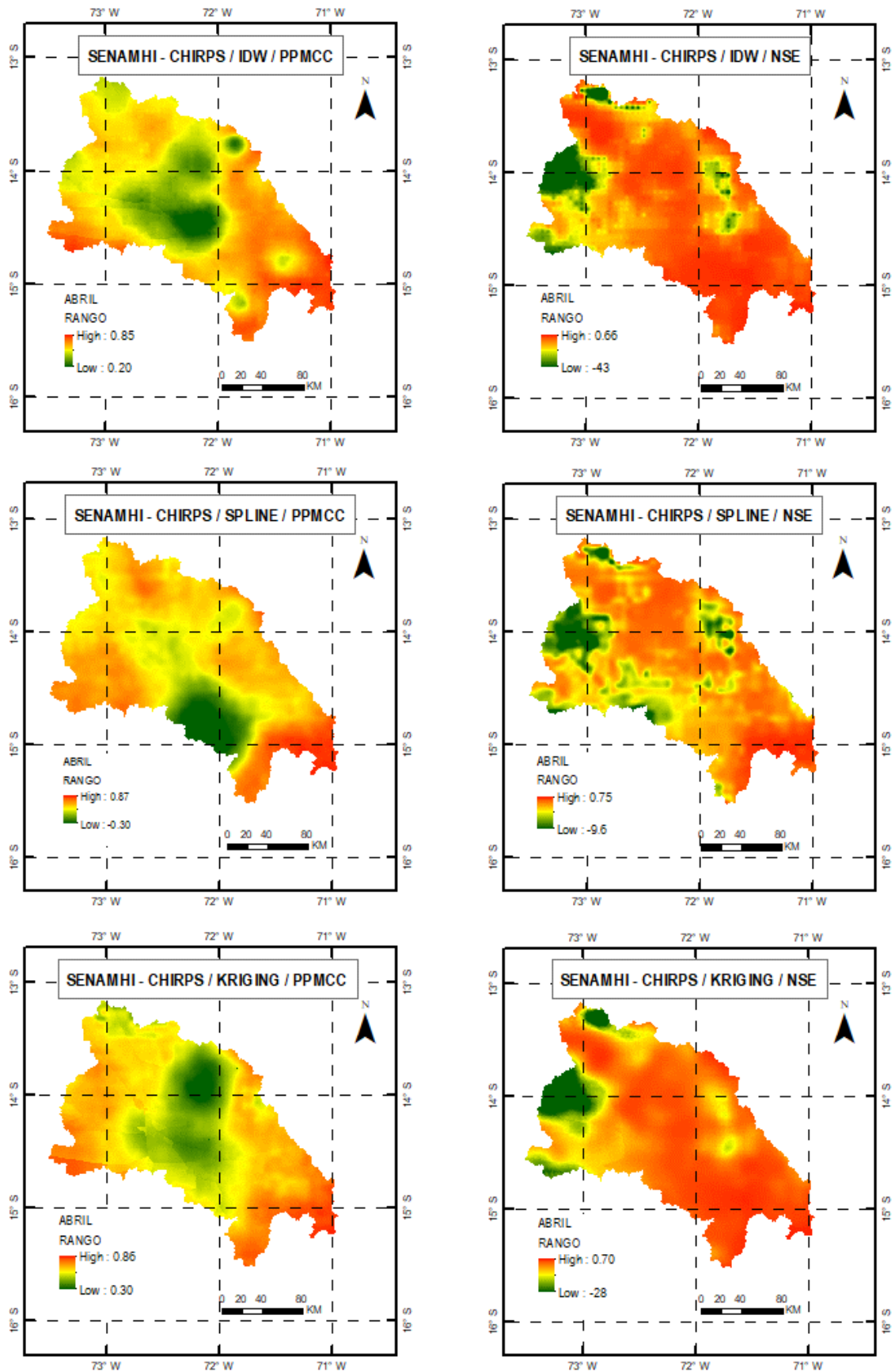
**Figura 56:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de febrero



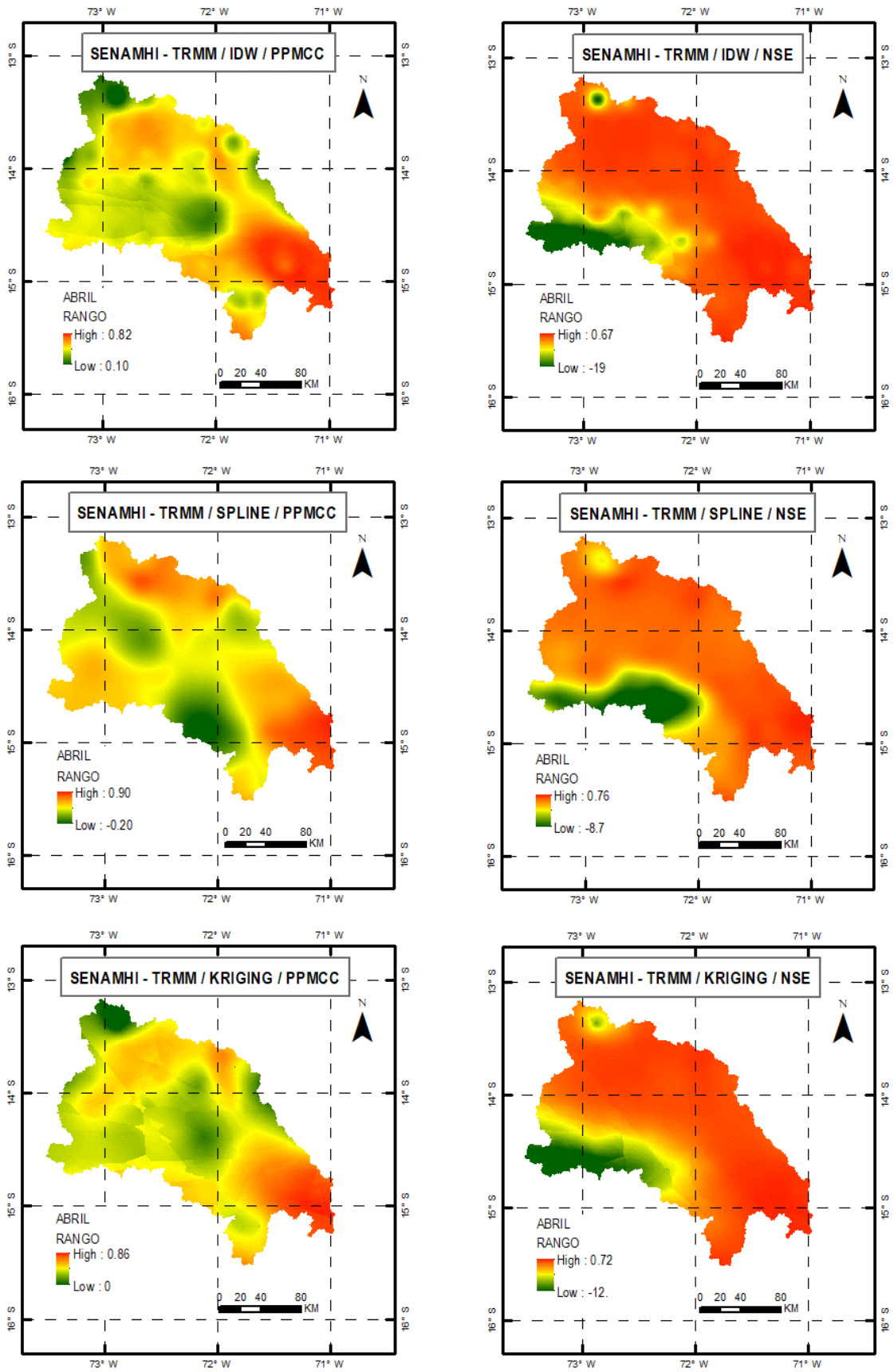
**Figura 57:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de marzo



**Figura 58:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de marzo



**Figura 59:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de abril



**Figura 60:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de abril

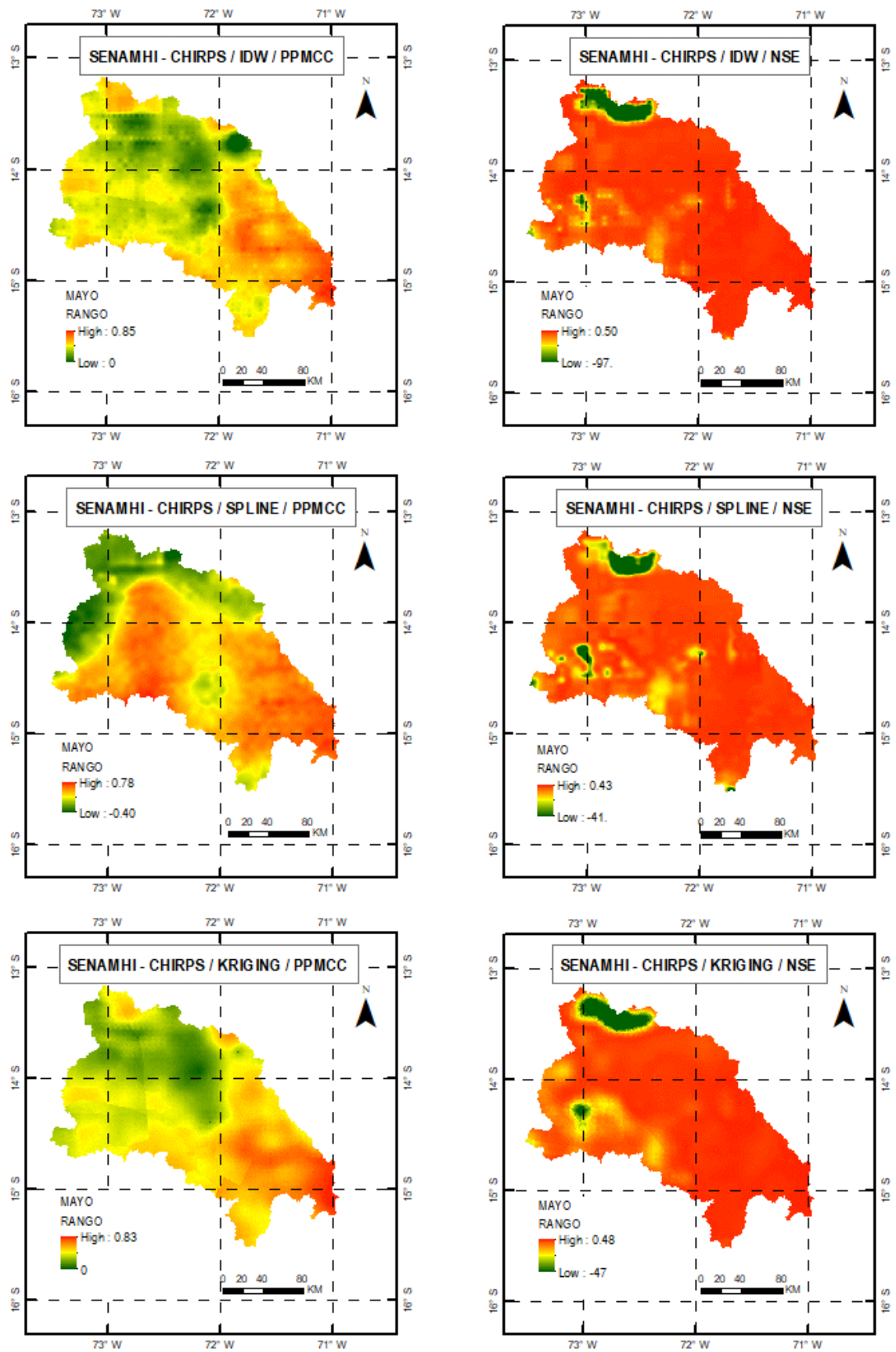
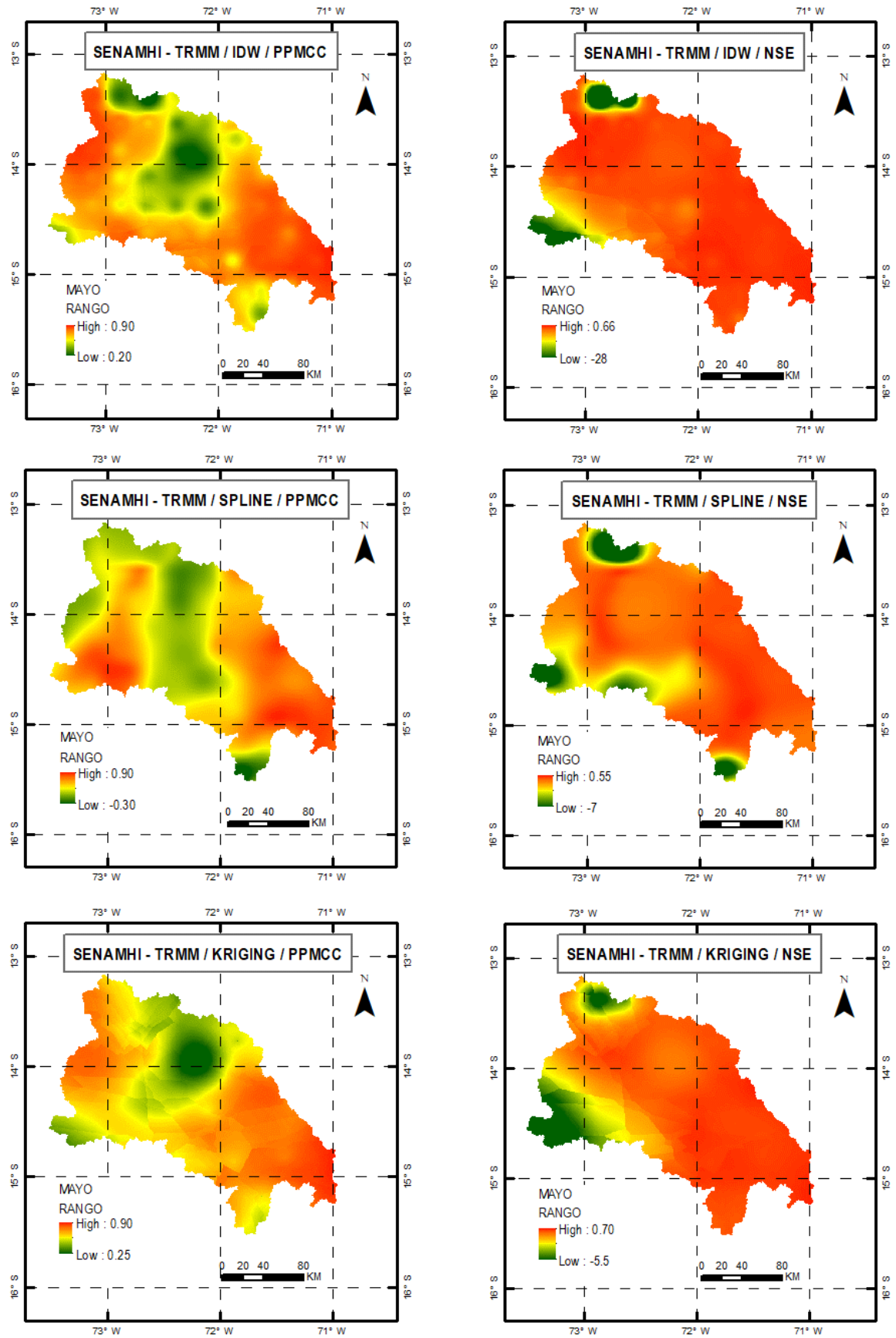
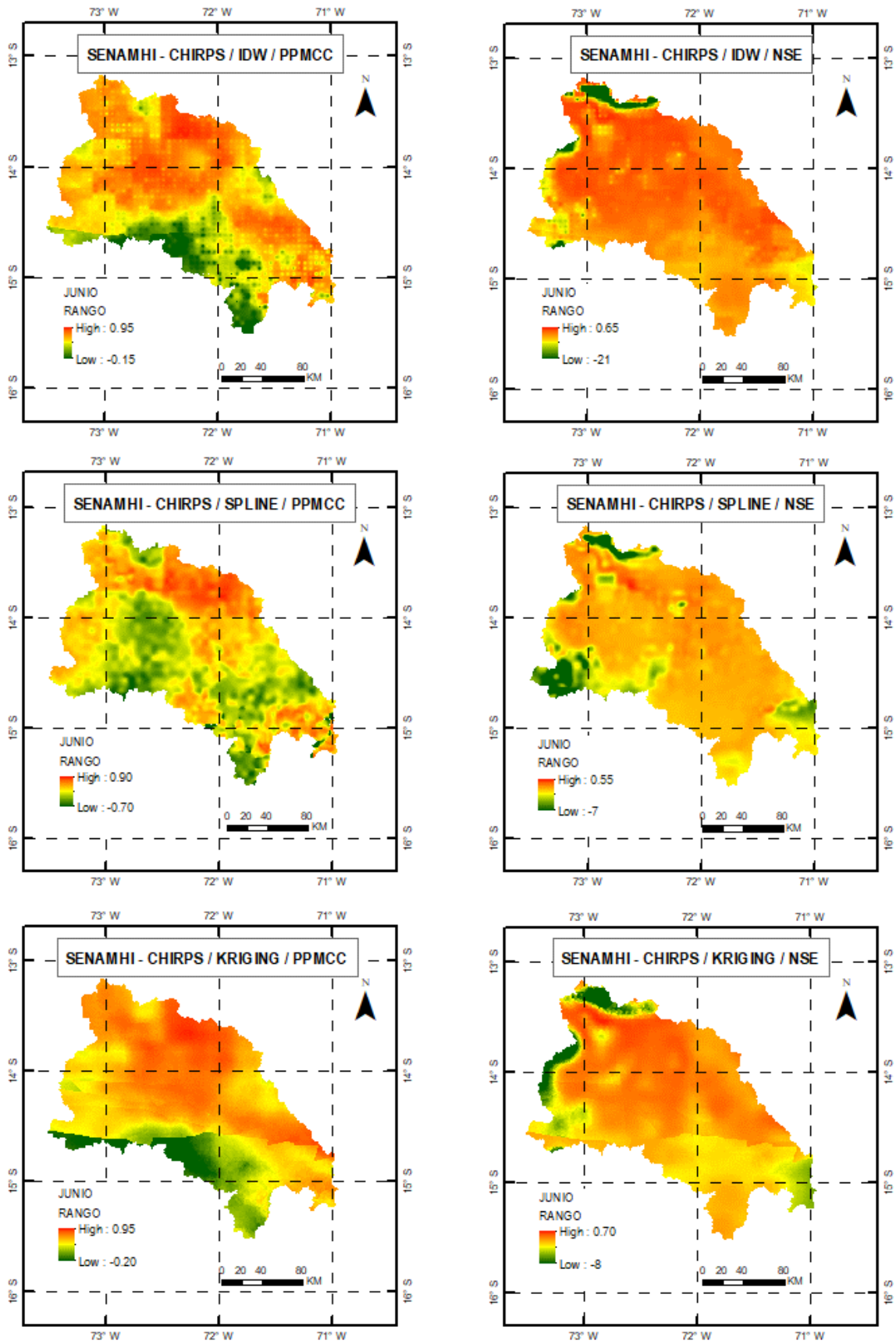


Figura 61: PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de mayo

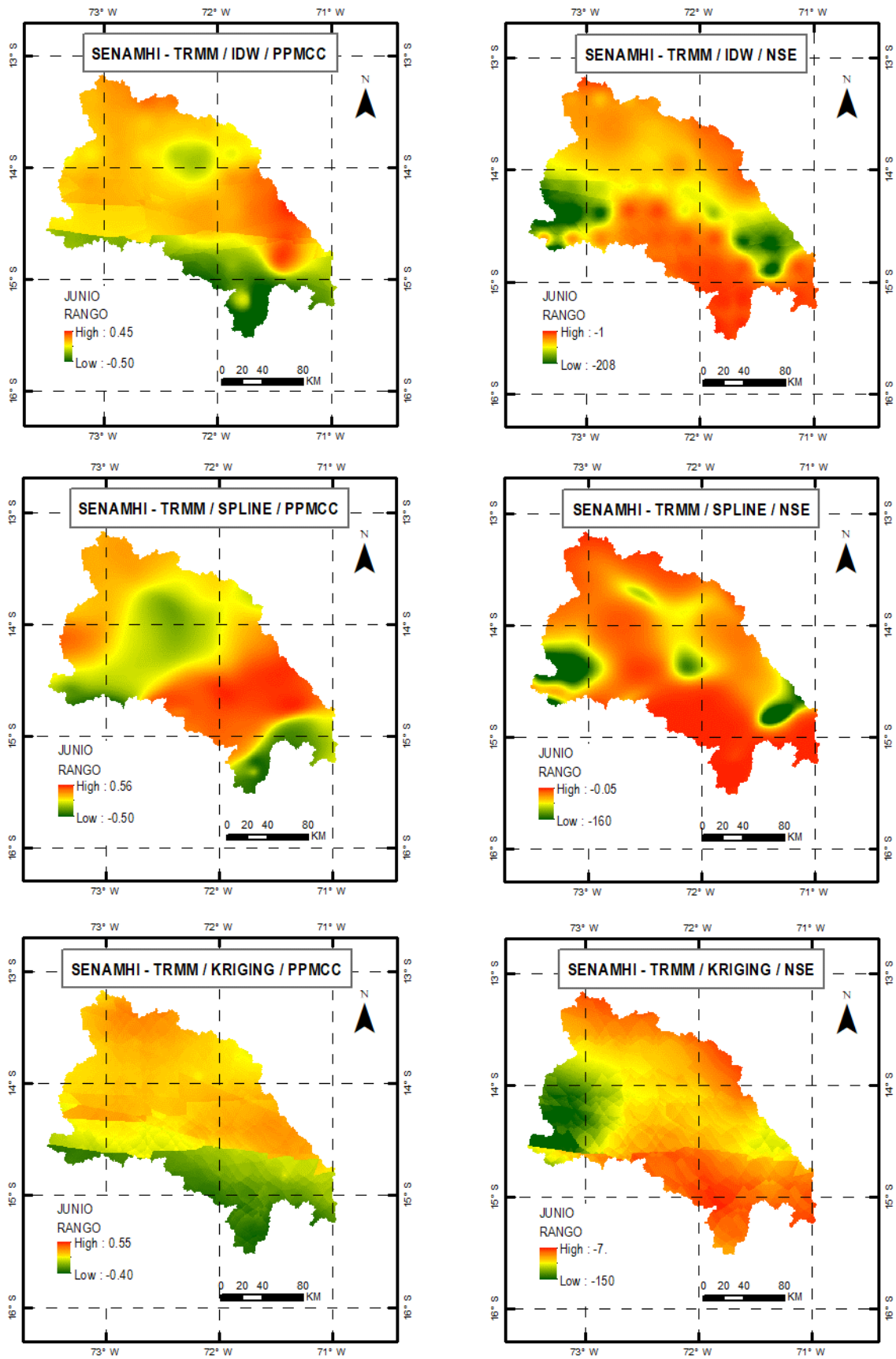




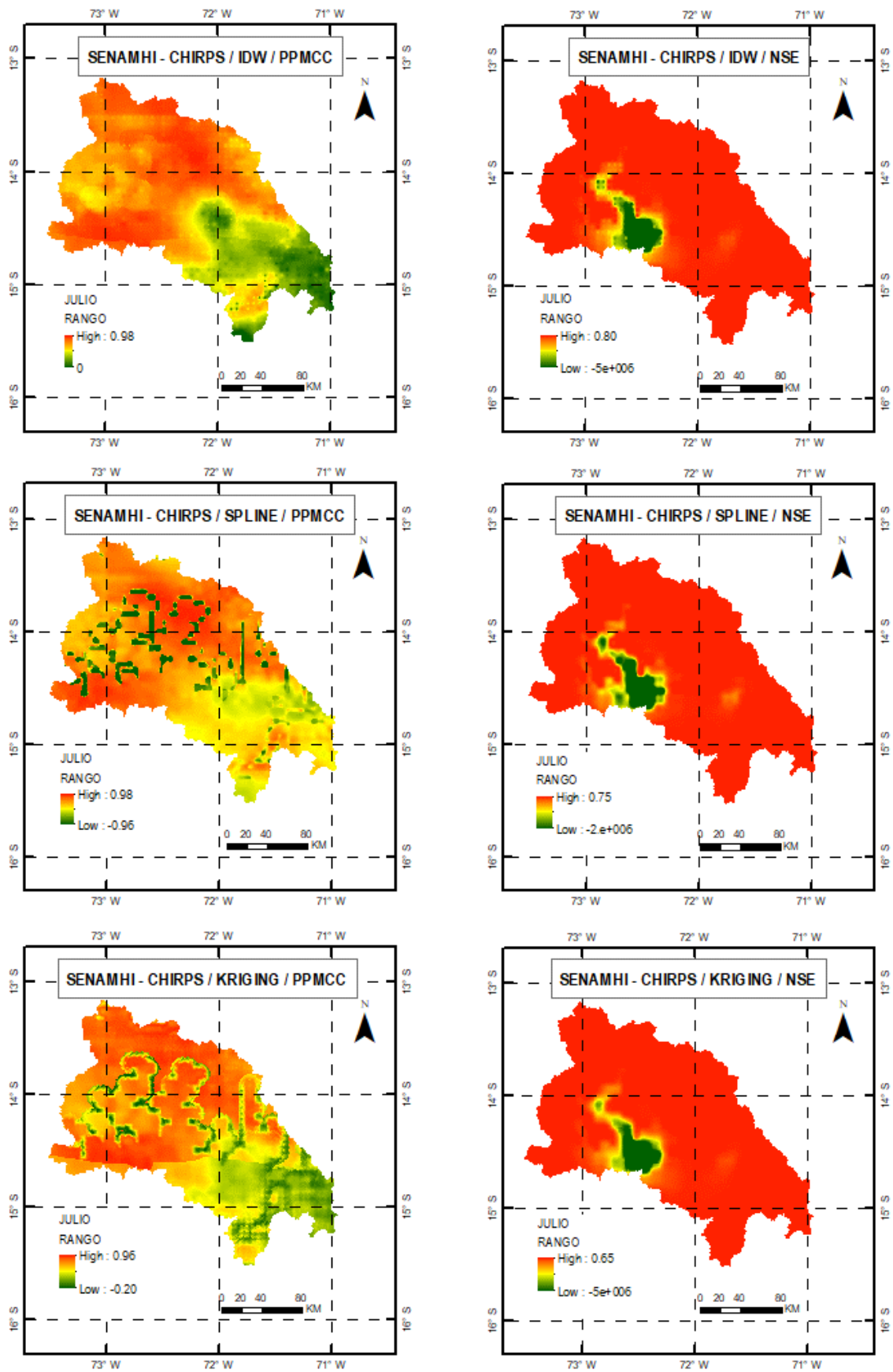
**Figura 62:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de mayo



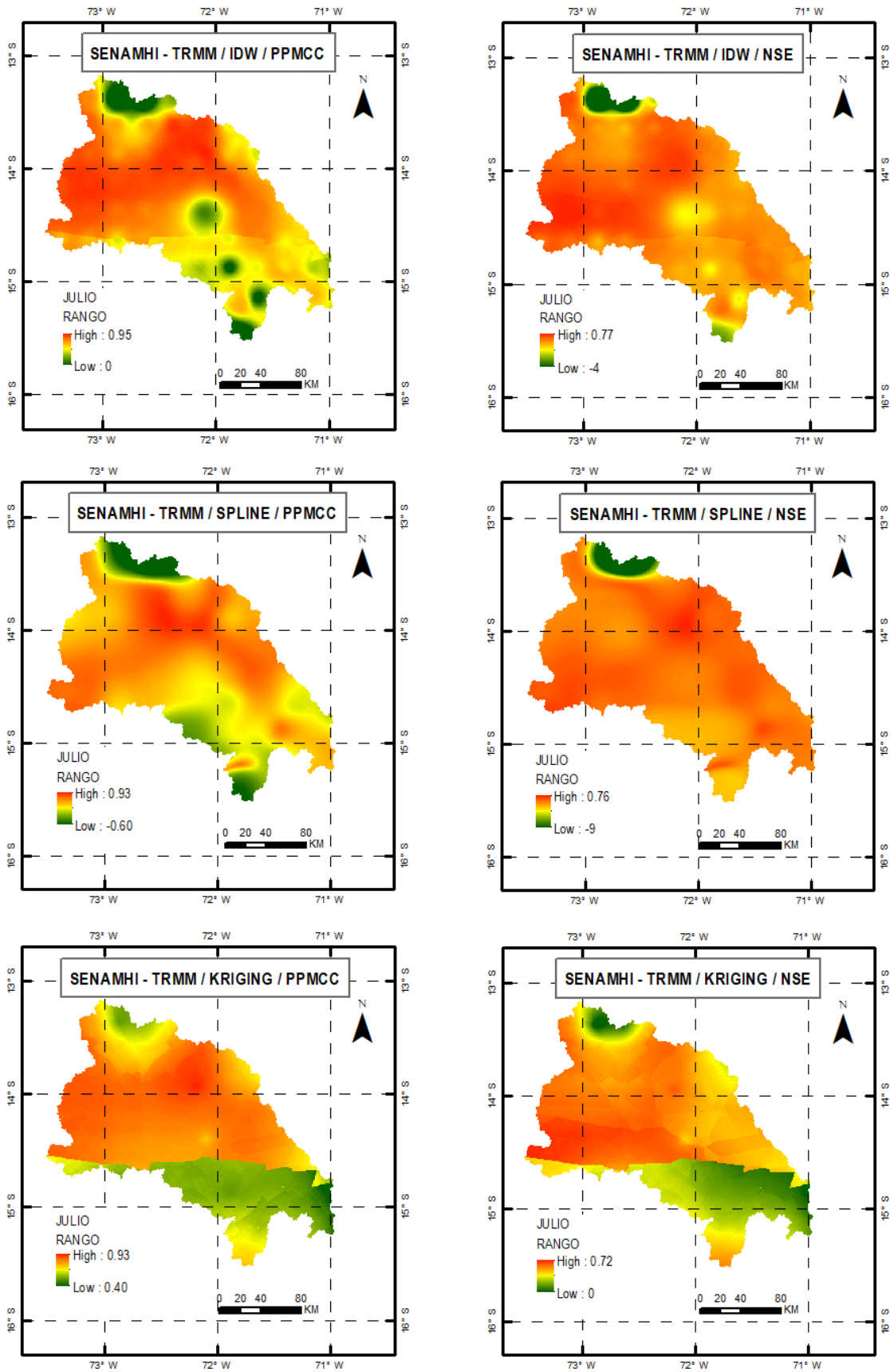
**Figura 63:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de junio



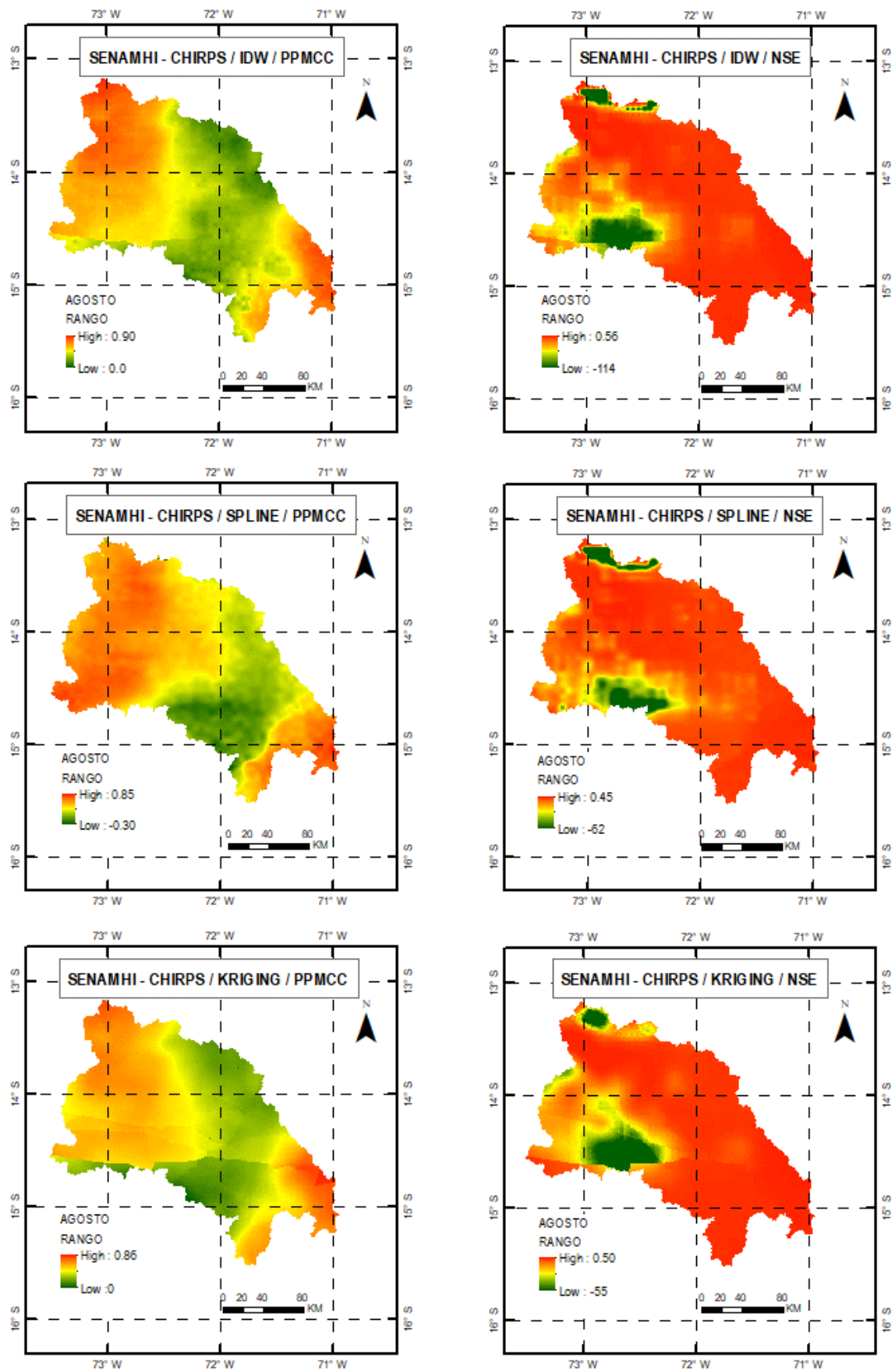
**Figura 64:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de junio



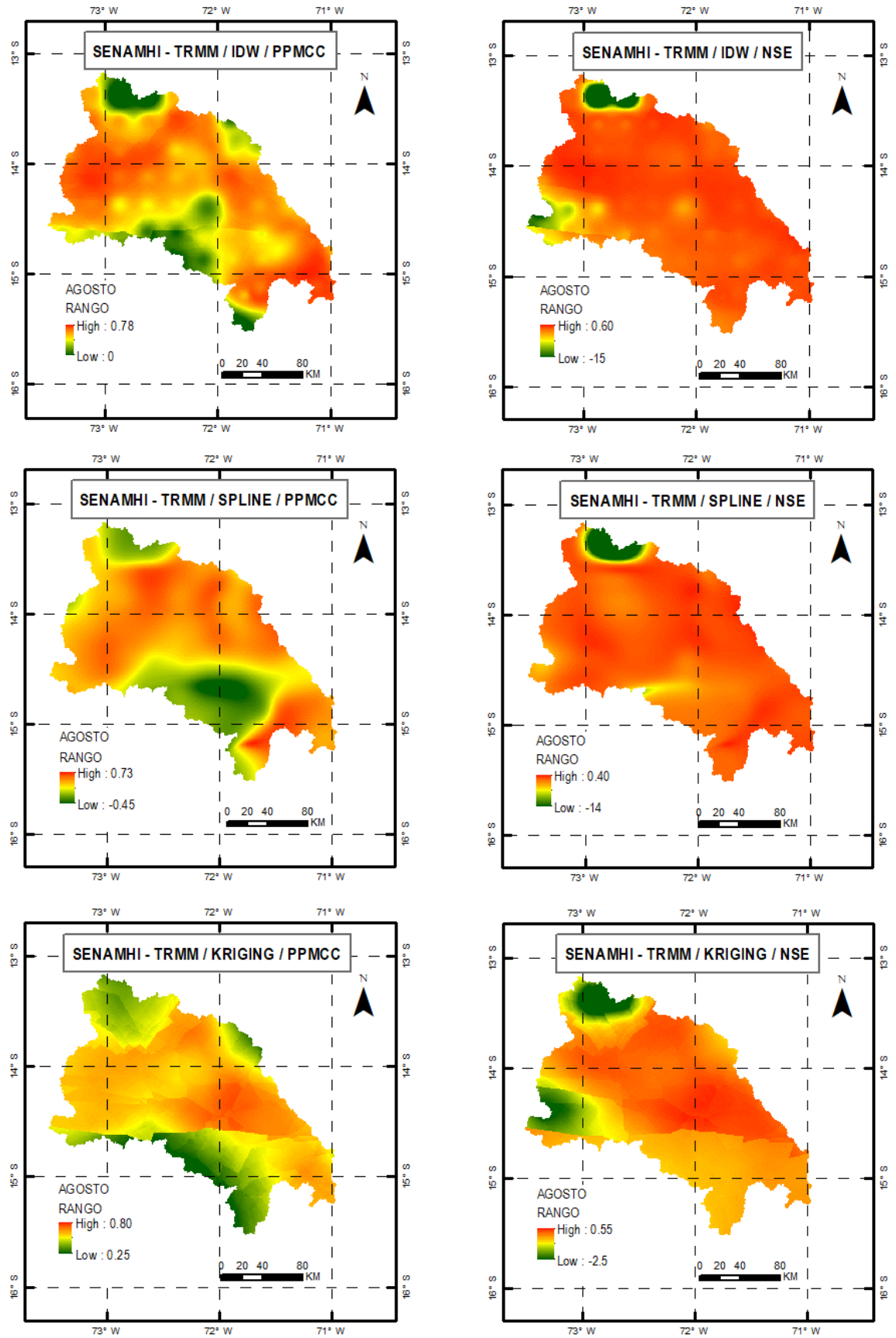
**Figura 65:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de julio



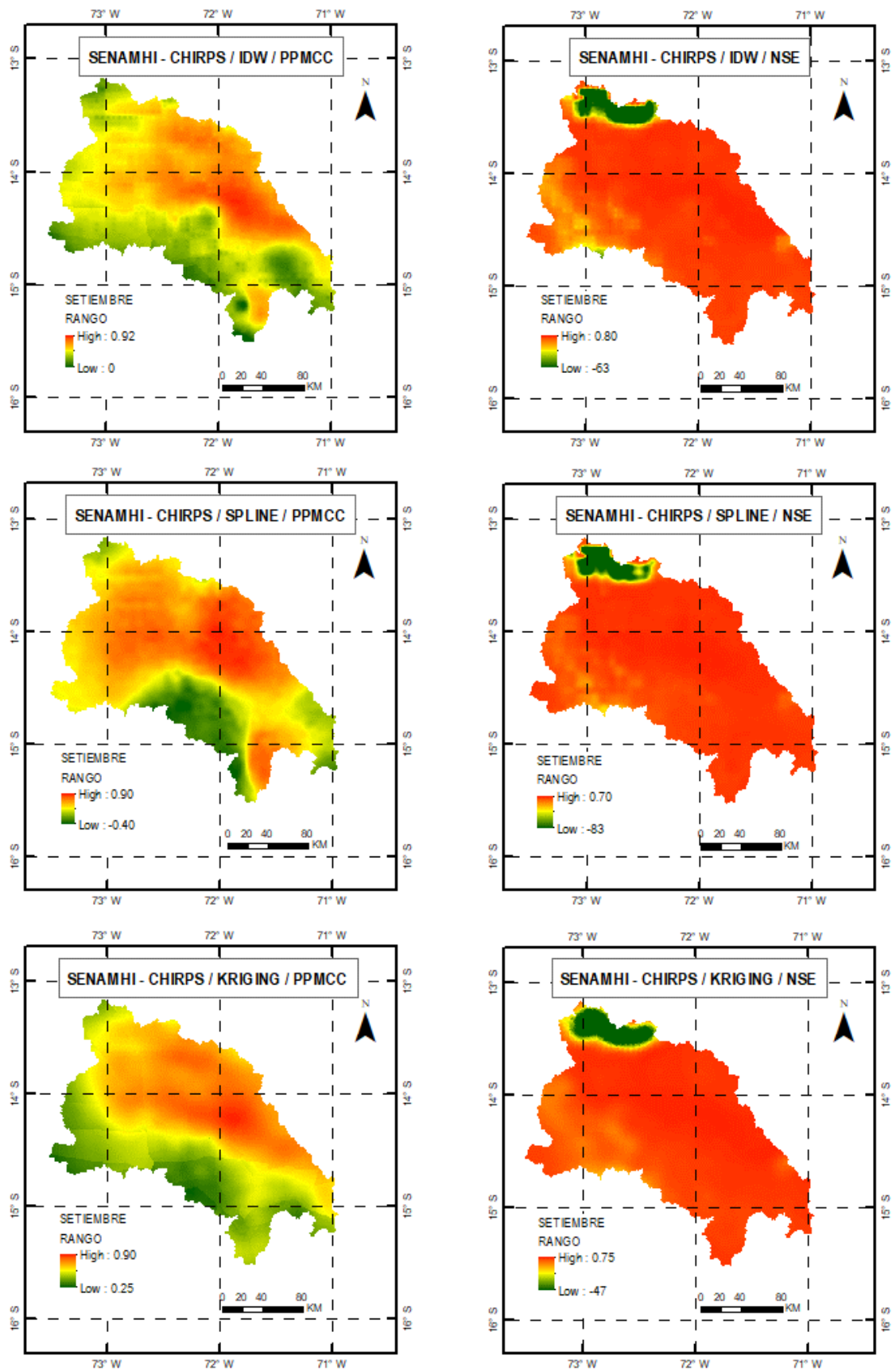
**Figura 66:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de julio



**Figura 67:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de agosto

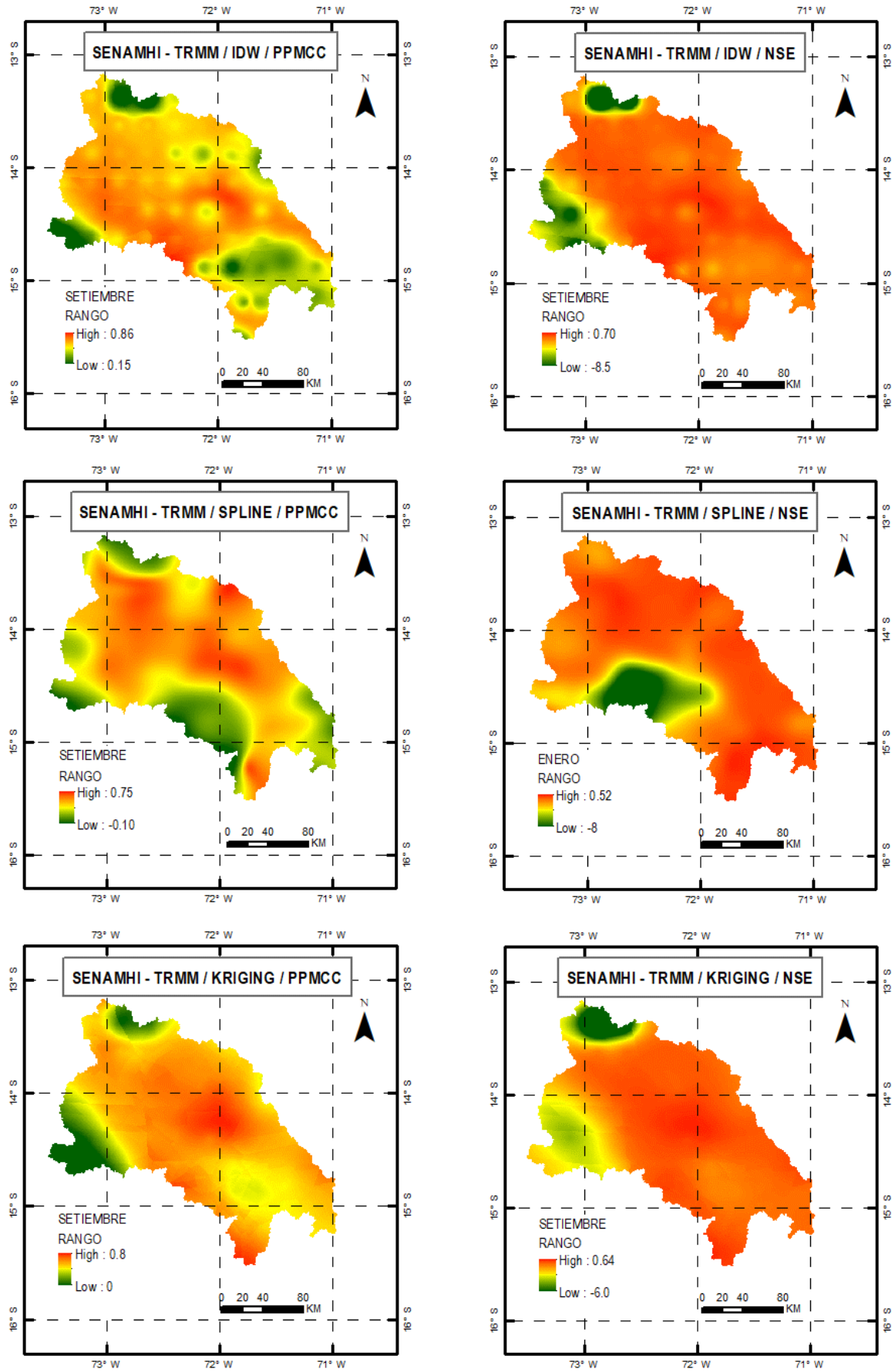


**Figura 68:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de agosto

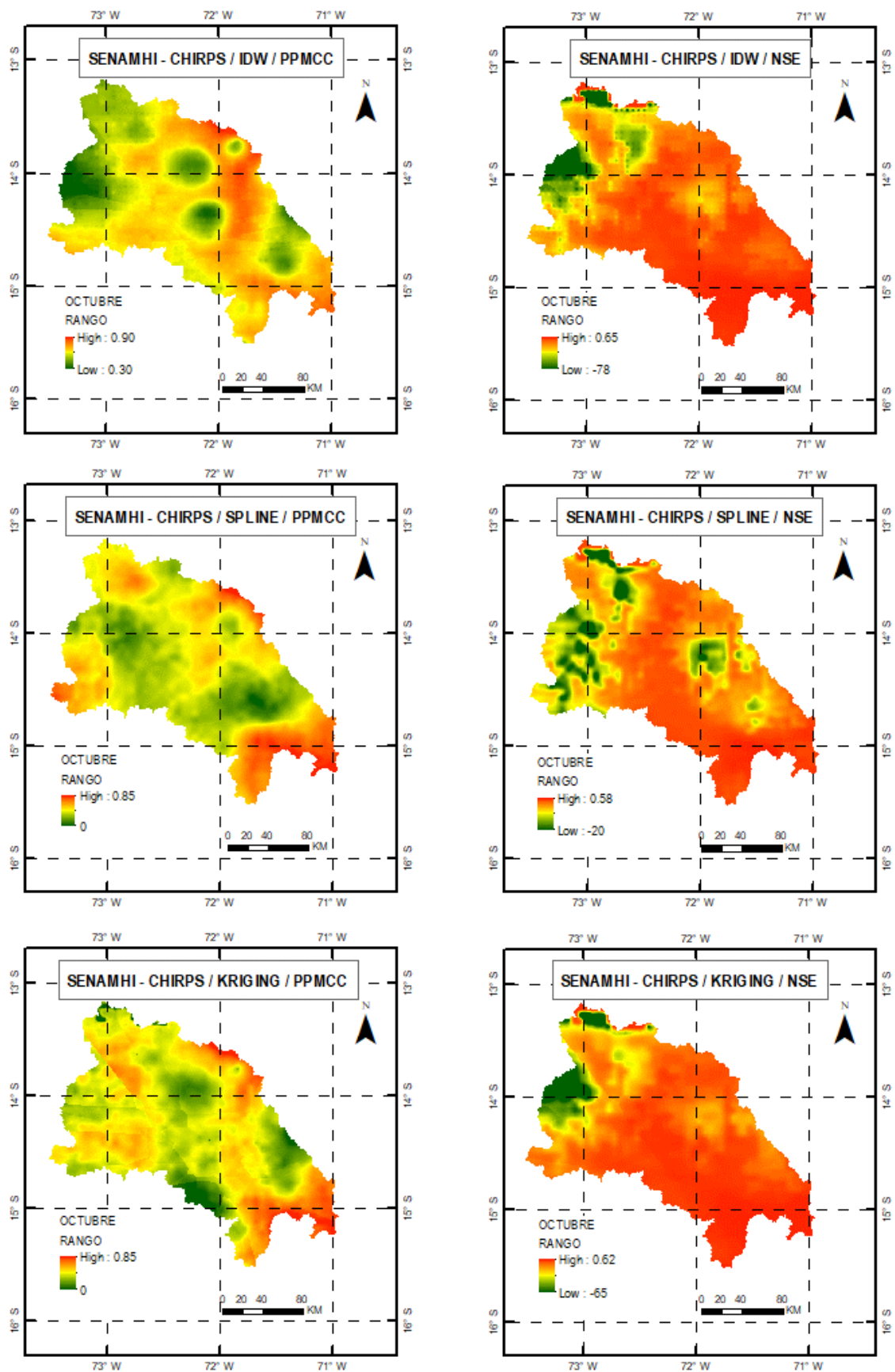


**Figura 69:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de setiembre

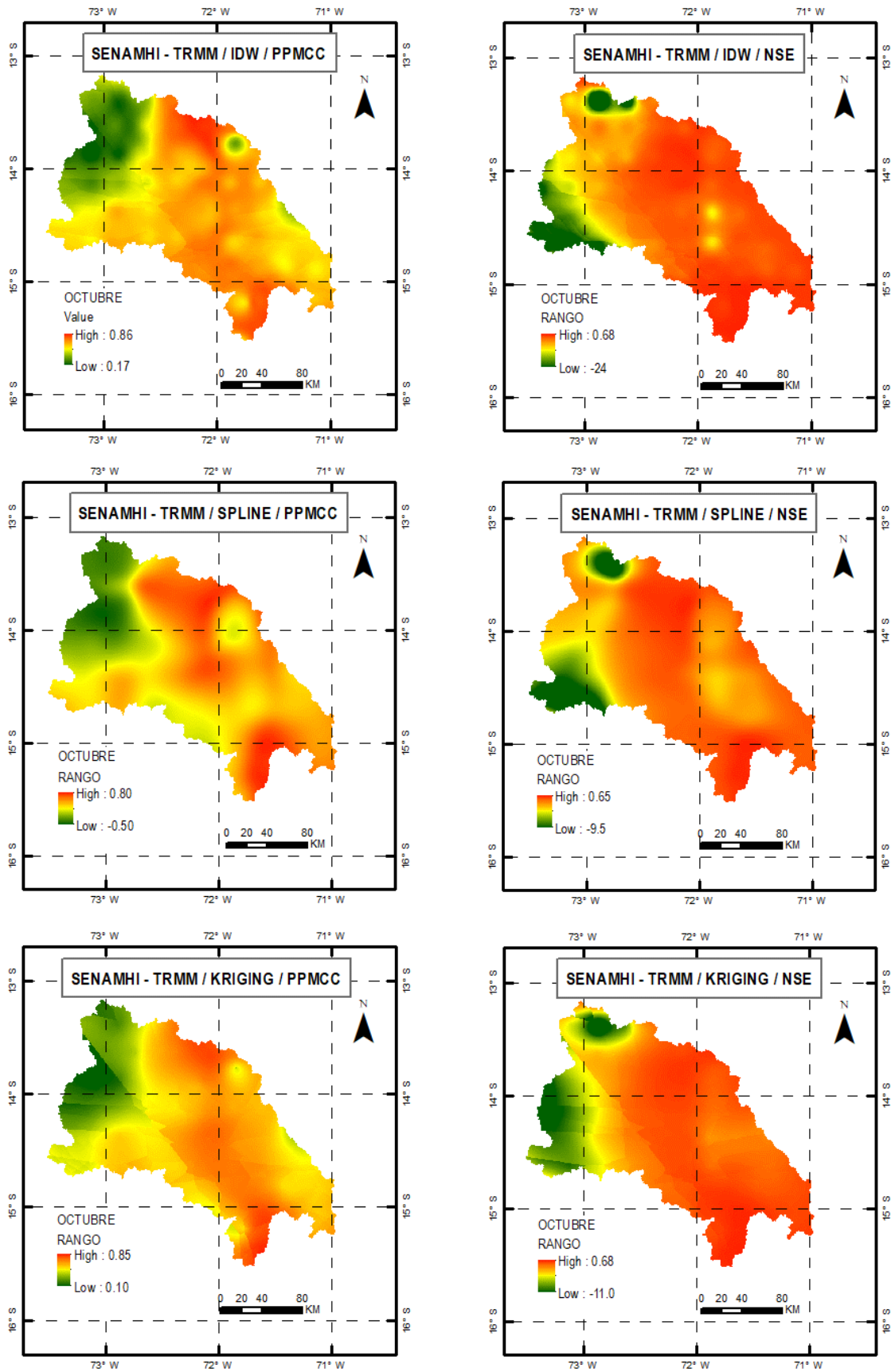




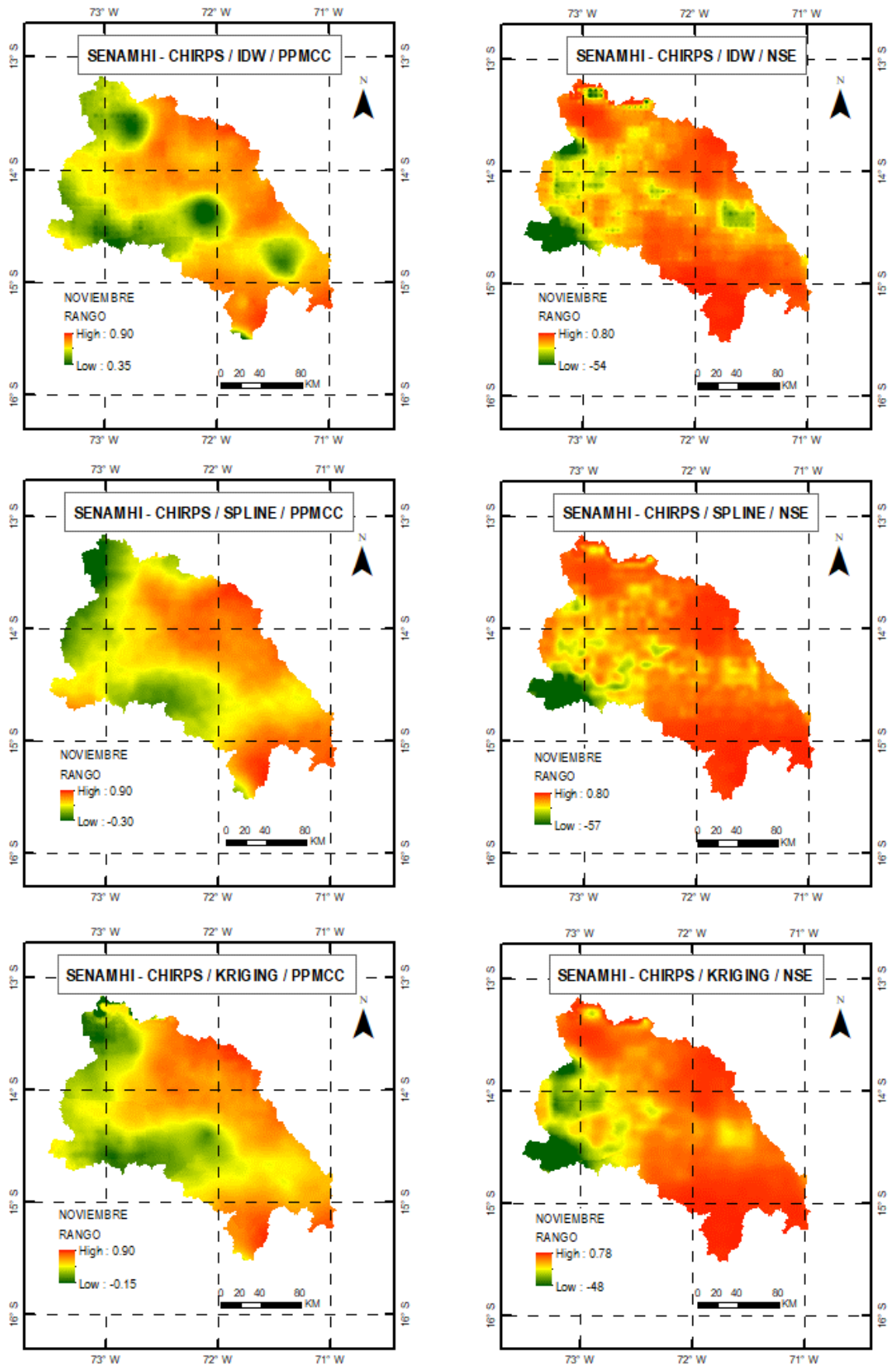
**Figura 70: PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de setiembre**



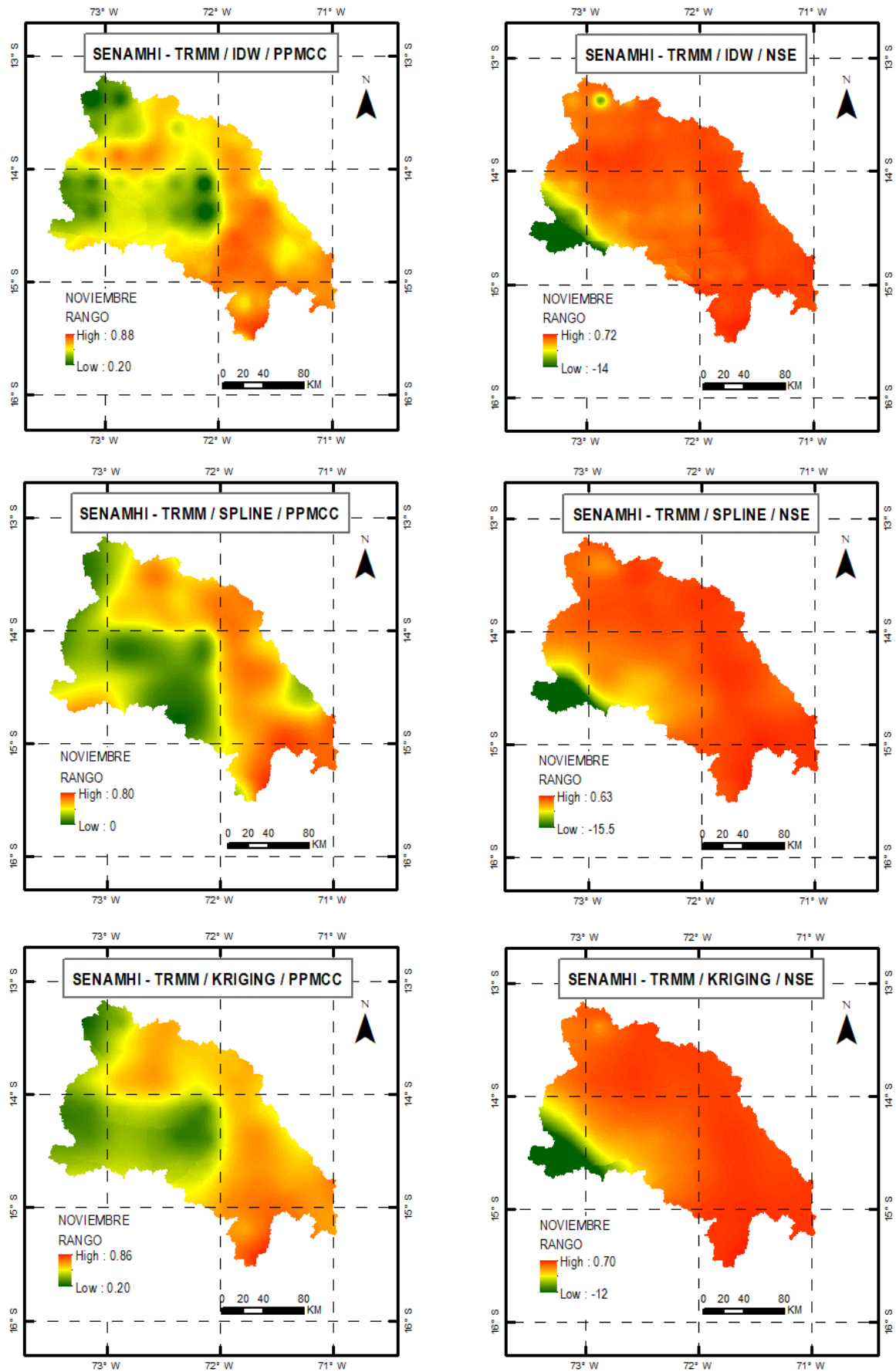
**Figura 71:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de octubre



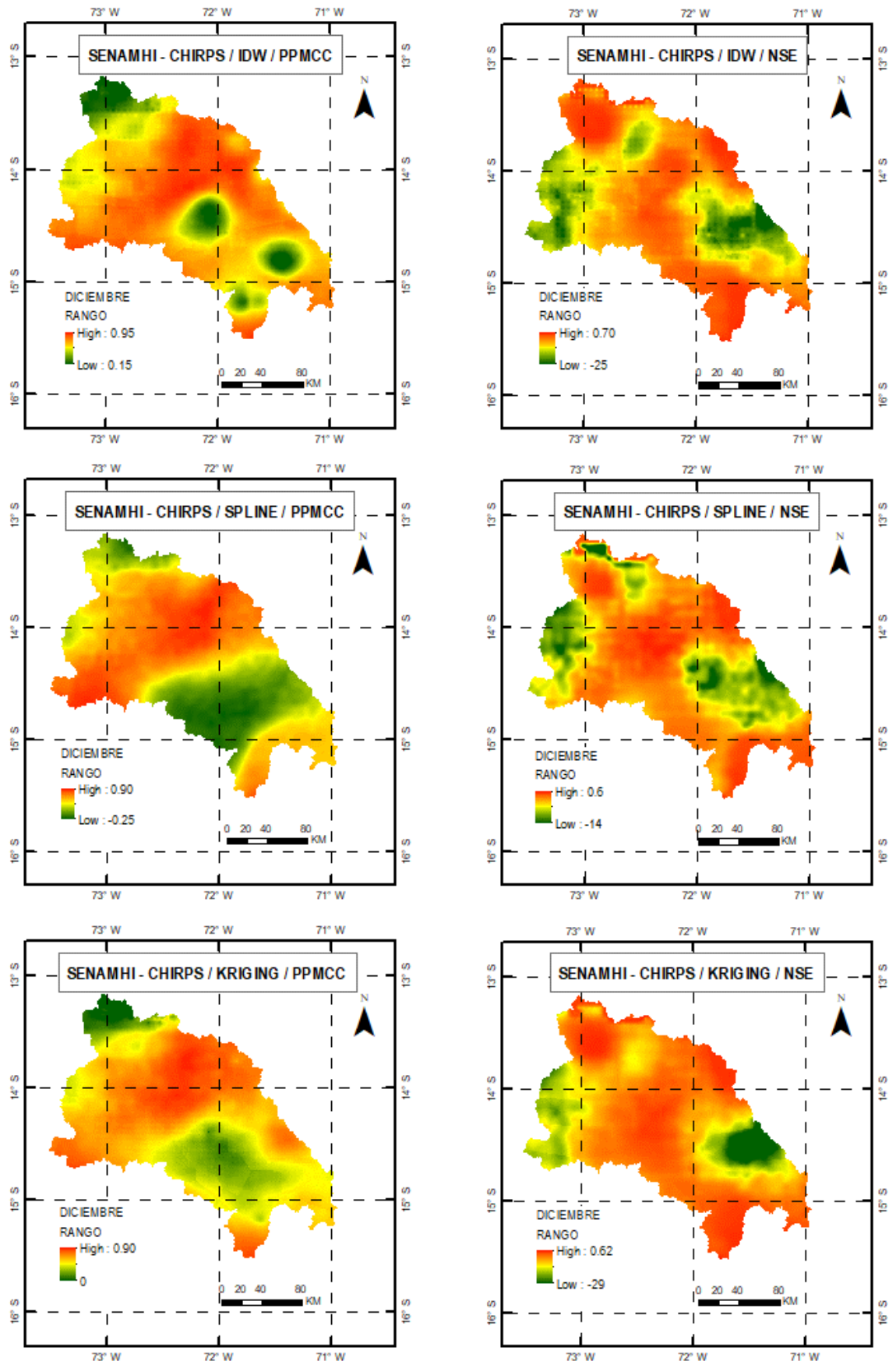
**Figura 72:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de octubre



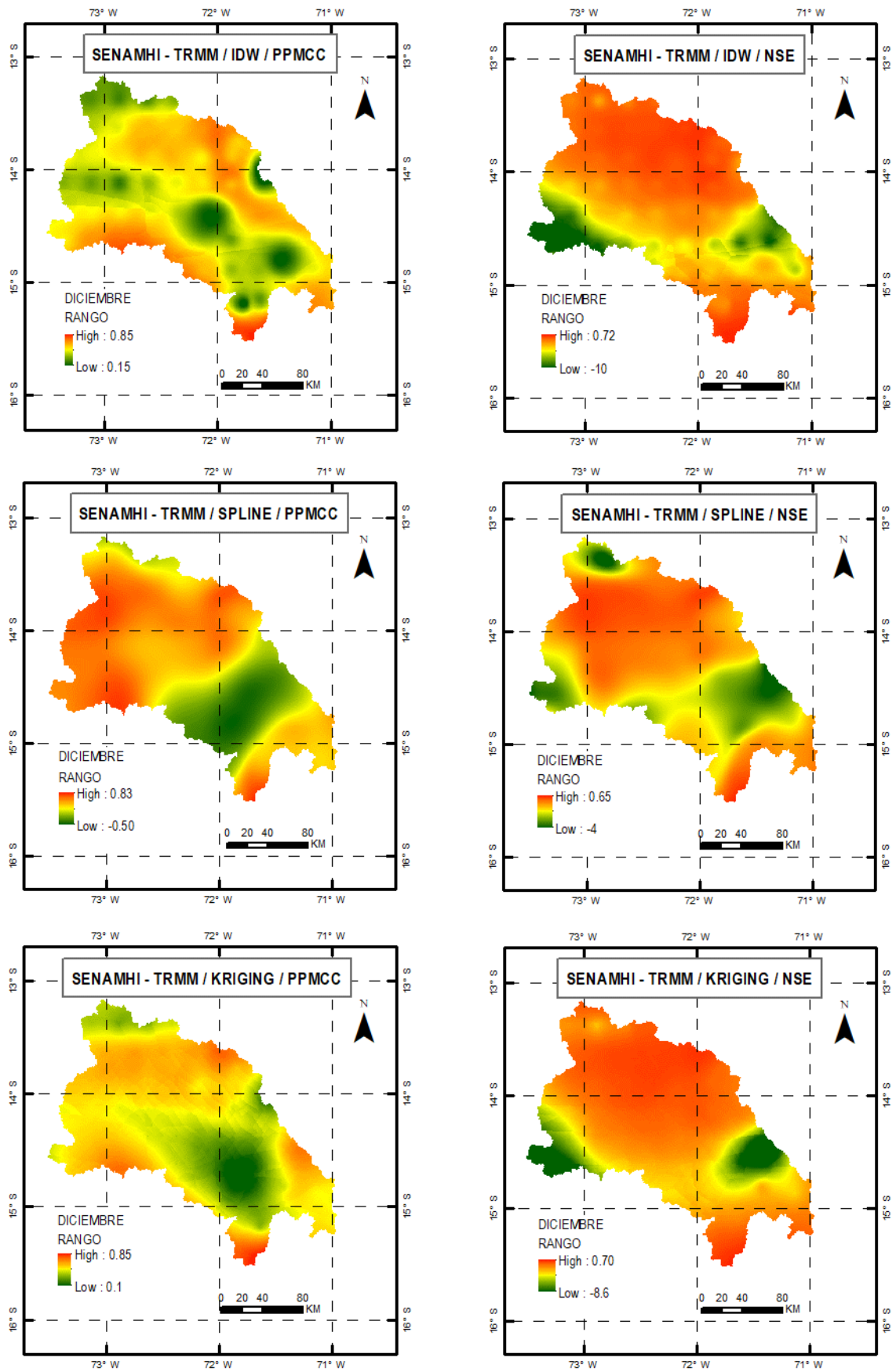
**Figura 73:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de noviembre



**Figura 74:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de noviembre



**Figura 75:** PPMCC y NSE para el producto CHIRPS en el mes de diciembre



**Figura 76:** PPMCC y NSE para el producto TRMM en el mes de diciembre

Anexo 4: Distribución de estaciones según el mapa de regiones climáticas

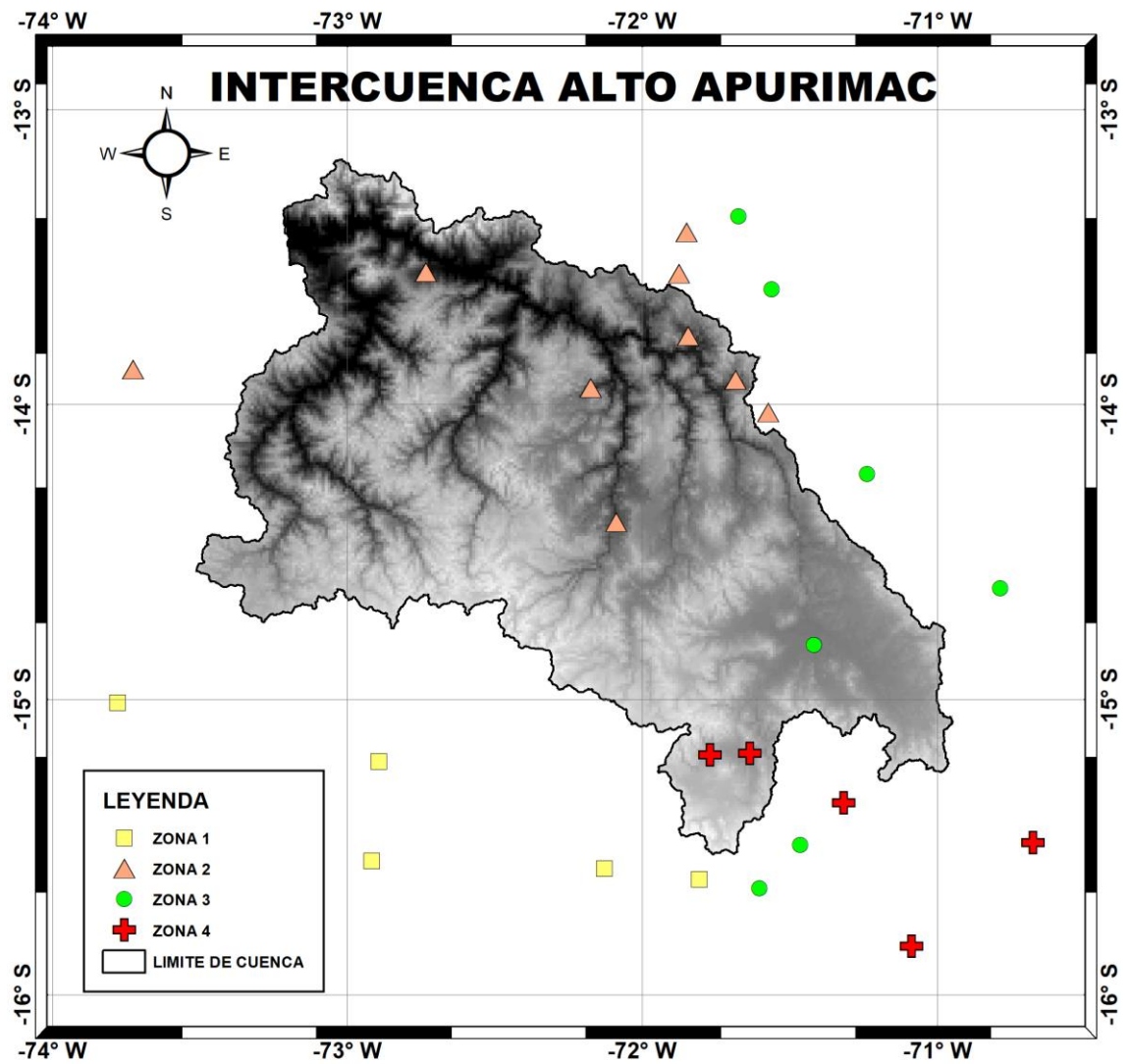
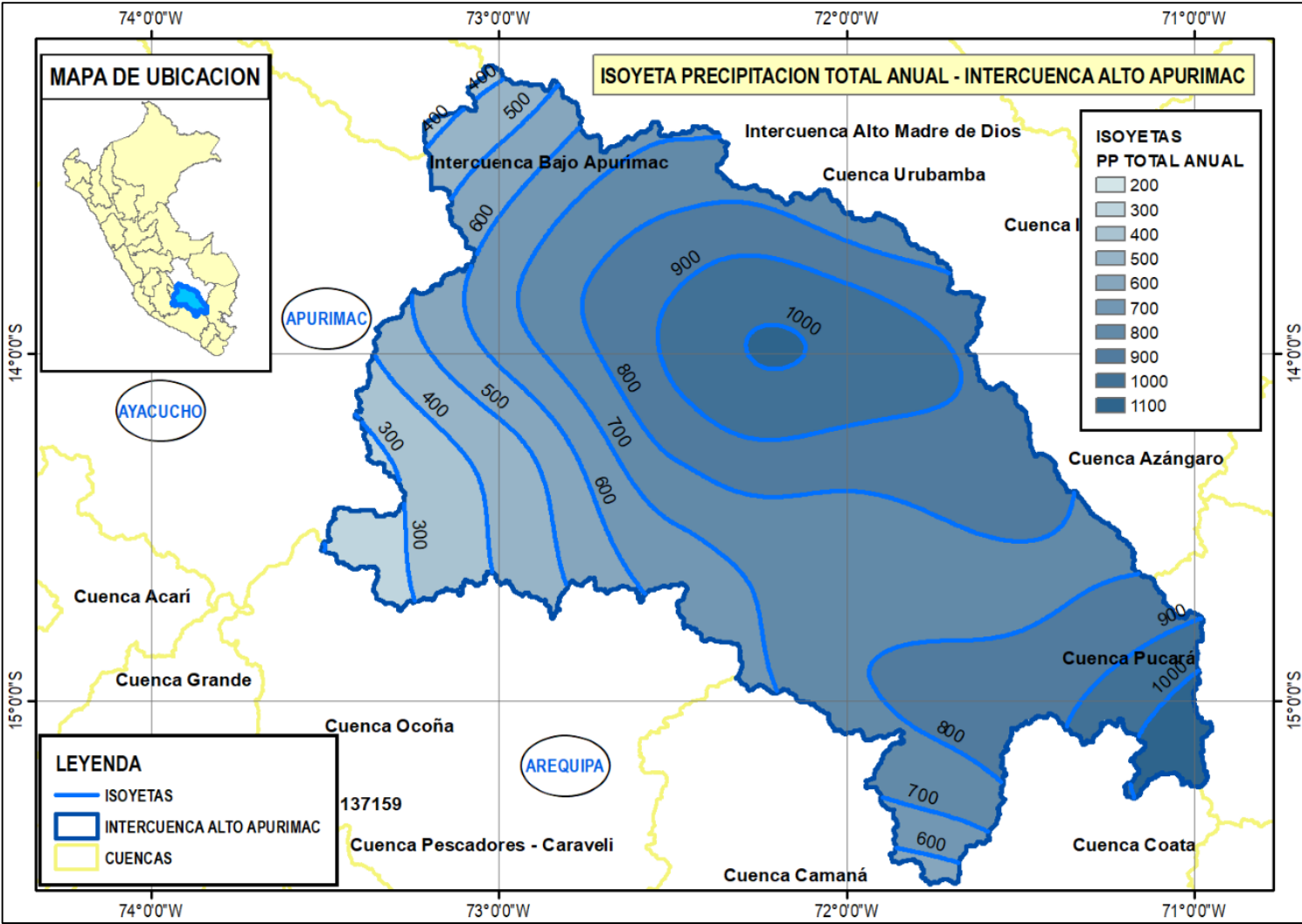


Figura 77: Distribución de estaciones según zona climática



**Anexo 5: Precipitación en la Intercuenca Alto Apurímac**



**Figura 78: Isoyeta de precipitación total anual – Intercuenca Alto Apurímac**