



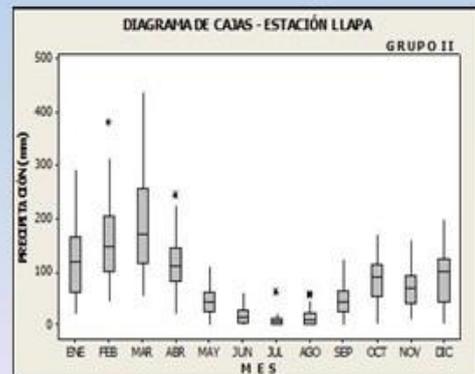
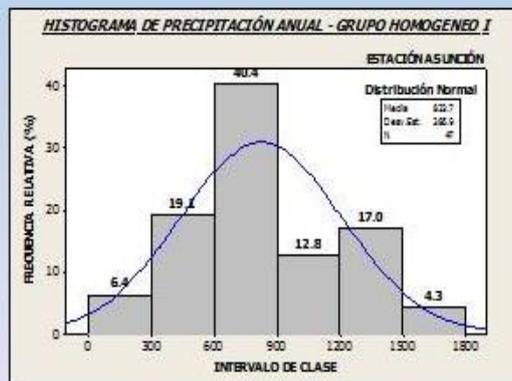
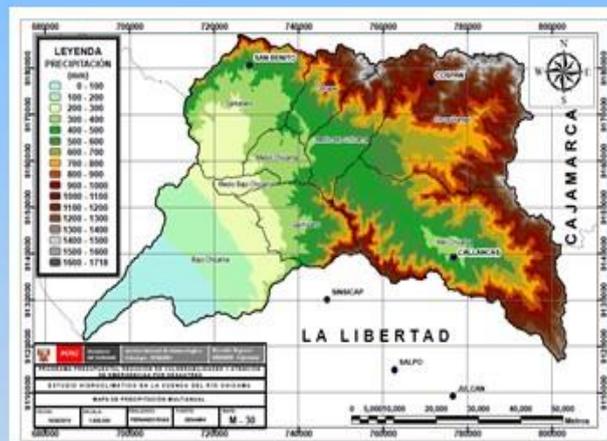
PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e  
Hidrología - SENAMHI

PROGRAMA PRESUPUESTAL, REDUCCION DE VULNERABILIDAD Y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POR DESASTRES - PREVAE

## CARACTERIZACIÓN HIDROCLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL RÍO CHICAMA



DICIEMBRE - 2013

## ÍNDICE

|   | PAG.      |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO I: ASPECTO GENERALES .....</b>                  | <b>11</b> |
| 1.1. Introducción.....                                      | 11        |
| 1.2. Objetivos .....  | 11        |
| 1.3. Justificación.....                                     | 12        |
| <b>CAPÍTULO II: ANTECEDENTES Y ASPECTOS TEÓRICOS .....</b>  | <b>13</b> |
| 2.1. Antecedentes .....                                     | 13        |
| 2.2. Aspectos teóricos.....                                 | 14        |
| 2.2.1. Parámetros morfológicos: .....                       | 14        |
| 2.2.2. Análisis de consistencia .....                       | 18        |
| 2.2.3. Diagrama de cajas .....                              | 19        |
| 2.2.4. Métodos de regionalización pluviométrica .....       | 19        |
| 2.2.5. Métodos de completación de datos pluviométricos..... | 27        |
| 2.2.6. Error cuadrático medio.....                          | 27        |
| 2.2.7. Medidas de distribución .....                        | 28        |
| 2.2.8. Evento ENOS .....                                    | 31        |
| 2.2.9. Análisis de tendencia .....                          | 32        |
| 2.2.10. Métodos de interpolación .....                      | 33        |
| 2.2.11. Transposición de caudales.....                      | 34        |
| 2.2.12. Curva de duración.....                              | 35        |
| 2.2.13. Tiempo de concentración.....                        | 35        |
| 2.2.14. Modelo de elevación digital (MED) .....             | 35        |
| <b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS.....</b>              | <b>36</b> |
| 3.1. Descripción general de la zona de estudio.....         | 36        |
| 3.1.1. Ubicación.....                                       | 36        |
| 3.1.2. Descripción de la cuenca .....                       | 36        |
| 3.2. Información utilizada.....                             | 43        |
| 3.2.1. Información cartográfica .....                       | 43        |
| 3.2.2. Información hidrometeorológica.....                  | 44        |
| 3.2.3. Software y equipos .....                             | 45        |
| 3.3. Aspectos metodológicos .....                           | 46        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.1. Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca y sus sub-cuencas .....  | 46        |
| 3.3.2. Selección de estaciones y control de calidad de los datos hidrometeorológicos ..... | 46        |
| 3.3.3. Determinación de regiones pluviométrica .....                                       | 48        |
| 3.3.4. Completación de los datos hidrometeorológicos .....                                 | 48        |
| 3.3.5. Caracterización climática .....   | 49        |
| 3.3.6. Análisis de la precipitación regional ante un evento enos.....                      | 49        |
| 3.3.7. Generación de caudales en las sub-cuencas .....                                     | 49        |
| 3.3.8. Análisis de los caudales ante un evento enos .....                                  | 50        |
| 3.3.9. Análisis de los caudales mediante la curva de frecuencia .....                      | 50        |
| 3.3.10. Patrones geoespaciales de la precipitación .....                                   | 50        |
| <b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>   | <b>53</b> |
| 4.1. Caracterización morfométrica de la cuenca y subcuencas .....                          | 53        |
| 4.1.1. Parámetros morfométricos de la cuenca del río chicama .....                         | 53        |
| 4.1.2. Parámetros morfométricos de las sub-cuencas del río chicama.....                    | 54        |
| 4.2. Regionalización pluviométrica .....   | 64        |
| 4.3. Características de las regiones pluviométricas encontradas .....                      | 70        |
| 4.3.1. Región homogénea I:.....  | 70        |
| 4.3.2. Región homogénea II:.....   | 73        |
| 4.3.3. Región homogénea III:.....  | 77        |
| 4.4. Tendencias en el comportamiento pluviométrico regional .....                          | 80        |
| 4.5. Patrones geoespaciales de las variables climáticas .....                              | 83        |
| 4.5.1. Patrones geoespaciales de la precipitación .....                                    | 83        |
| 4.5.2. Patrones geoespaciales de la temperatura.....                                       | 85        |
| 4.5.3. Patrones geoespaciales de evapotranspiración .....                                  | 91        |
| 4.6. Análisis de caudales .....  | 93        |
| 4.6.1. Control de calidad de la información.....   | 93        |
| 4.6.2. Descripción de los parámetros descriptivos en los caudales.....                     | 96        |
| 4.6.3. Comportamiento de los caudales ante eventos enos .....                              | 99        |
| 4.6.4. Análisis de frecuencia de los caudales .....  | 101       |
| 4.6.5. Análisis de sequías y excesos hídricos en los caudales.....                         | 103       |
| 4.7. Caracterización hidroclimática de las subcuencas.....                                 | 105       |
| 4.7.1. Subcuenca Bajo Chicama.....   | 106       |

---

|  |            |
|--|------------|
| 4.7.2. Subcuenca Medio Bajo Chicama..... | 106        |
| 4.7.3. Subcuenca Medio Chicama.....      | 107        |
| 4.7.4. Subcuenca Medio Alto Chicama..... | 108        |
| 4.7.5. Subcuenca Santanero.....          | 109        |
| 4.7.6. Subcuenca Ochape.....             | 110        |
| 4.7.7. Subcuenca Quirripano.....         | 111        |
| 4.7.8. Subcuenca Chuquillanqui.....      | 112        |
| 4.7.9. Subcuenca Alto Chicama.....       | 113        |
| <b>CAPITULO V: CONCLUSIONES.....</b>     | <b>115</b> |
| <b>CAPITULO VI: RECOMENDACIONES.....</b> | <b>119</b> |
| <b>CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA.....</b>   | <b>120</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | PAG. |
|---|------|
| Figura N°1.0 Mapa de ubicación de la cuenca del río Chicama.....                                      | 36   |
| Figura N°2.0 Demarcación Hidrográfica de la Cuenca del Río Chicama.....                               | 37   |
| Figura N°3.0 Hidrografía de la Cuenca del Río Chicama.....  | 38   |
| Figura N°4.0 Clasificación Climática de la Cuenca del Río Chicama.....                                | 41   |
| Figura N°5.0 Ubicación de Estaciones meteorológicas e hidrológicas Seleccionadas.....                 | 45   |
| Figura N°6.0 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chicama.....                               | 54   |
| Figura N°7.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Bajo Chicama.....                              | 55   |
| Figura N°8.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Medio Bajo Chicama.....                        | 56   |
| Figura N°9.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Medio Chicama.....                             | 57   |
| Figura N°10.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Santanero.....                                | 58   |
| Figura N°11.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Quirripano.....                               | 59   |
| Figura N°12.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Medio Alto Chicama.....                       | 60   |
| Figura N°13.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Ochape.....                                   | 61   |
| Figura N°14.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Chuquillanqui.....                            | 62   |
| Figura N°15.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Alto Chicama.....                             | 63   |
| Figura N°16.0 Representación espacial de las grupos pluviométricamente homogéneos.....                | 69   |
| Figura N°17.0 Representación espacial de las regiones pluviométricas.....                             | 70   |
| Figura N°18.0 Distribución espacial de la precipitación en la cuenca del río Chicama.....             | 85   |
| Figura N°19.0 Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la cuenca del río Chicama.....  | 87   |
| Figura N°20.0 Distribución espacial de la temperatura mínima anual en la cuenca del río Chicama ..... | 89   |
| Figura N°21.0 Distribución espacial de la temperatura media anual en la cuenca del río Chicama .....  | 91   |
| Figura N°22.0 Distribución espacial de la evapotranspiración anual en la cuenca del río Chicama ..... | 92   |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  | PAG. |
|--|------|
| Gráfico N° 1.0 Agrupamiento por el método de clúster.....                              | 64   |
| Gráfico N° 2.0 Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea I..... | 65   |

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico N° 3.0 Suma de Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea I.....            | 66  |
| Gráfico N°4.0 Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea II.....                    | 67  |
| Gráfico N°5.0 Suma de Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea II.....            | 67  |
| Gráfico N°6.0 Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea III.....                   | 68  |
| Gráfico N°7.0 Suma de Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea III.....           | 69  |
| Gráfico N°8.0 Comportamiento de la precipitación anual ante un evento ENOS – Región Homogénea I.....      | 72  |
| Gráfico N°9.0 Comportamiento de la precipitación mensual ante un evento ENOS – Región Homogénea I.....    | 73  |
| Gráfico N°10.0 Comportamiento de la precipitación anual ante un evento ENOS – Región Homogénea II.....    | 76  |
| Gráfico N°11.0 Comportamiento de la precipitación mensual ante un evento ENOS – Región Homogénea II.....  | 77  |
| Gráfico N°12.0 Comportamiento de la precipitación anual ante un evento ENOS – Región Homogénea III.....   | 79  |
| Gráfico N°13.0 Comportamiento de la precipitación mensual ante un evento ENOS – Región Homogénea III..... | 80  |
| Gráfico N°14.0 Tendencia en las series anuales de precipitación por región homogénea.....                 | 82  |
| Gráfico N°15.0 Tendencia en las series de precipitación del trimestre DEF por región homogénea .....      | 82  |
| Gráfico N°16.0 Tendencia en las series de precipitación del trimestre MAM por región homogénea .....      | 83  |
| Gráfico N°17.0 Tendencia en las series de precipitación del trimestre JJA por región homogénea .....      | 83  |
| Gráfico N°18.0 Diagramas de cajas de los caudales registrados en las estaciones Yonan y Salinar .....     | 94  |
| Gráfico N°19.0 Análisis de doble masa, estación Yonan vs Salinar.....                                     | 94  |
| Gráfico N°20.0 Tendencia en la serie de caudal anual –Estación Salinar.....                               | 96  |
| Gráfico N°21.0 Histograma de caudales mensuales – Estación de aforo Salinar.....                          | 98  |
| Gráfico N°22.0 Histograma de caudales anuales – Estación de aforo Salinar.....                            | 99  |
| Gráfico N°23.0 Comportamiento de los caudales ante un evento ENOS – Estación Salinar.....                 | 100 |
| Gráfico N°24.0 Comportamiento de los caudales mensuales ante un evento ENOS – Estación Salinar.....       | 100 |
| Gráfico N°25.0 Curva de duración de caudales medios anuales – Cuenca río Chicama .....                    | 101 |

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico N°26.0 Persistencia de caudales medios mensuales – Cuenca río Chicama ..... | 102 |
| Gráfico N°27.0 Evolución de los caudales caracterizados por el índice decil.....    | 103 |
| Gráfico N°28.0 Rangos decílicos de los caudales.....                                | 104 |
| Gráfico N°29.0 Caudales mensuales promedio en años secos, húmedos y normales.....   | 105 |

### **ÍNDICE DE TABLAS**

|  |      |
|--|------|
|  | PAG. |
| Tabla N° 1.0 Cronología de eventos ENOS..... | 31   |

### **ÍNDICE DE CUADROS**

|   |      |
|---|------|
|   | PAG. |
| Cuadro N°1.0 Demarcación política de la cuenca del río Chicama.....   | 37   |
| Cuadro N°2.0 Afluentes del río Chicama.....   | 38   |
| Cuadro N°3.0 Red de estaciones meteorológicas e hidrológicas seleccionadas .....                              | 44   |
| Cuadro N°4.0 Tiempos de concentración por métodos de Kirpich y California en subcuencas del río Chicama ..... | 63   |
| Cuadro N°5.0 Parámetros del vector para la Grupo homogénea I.....   | 65   |
| Cuadro N°6.0 Parámetros del vector para la Grupo homogénea II.....  | 66   |
| Cuadro N°7.0 Parámetros del vector para la Grupo homogénea III.....   | 68   |
| Cuadro N°8.0 Climatología de temperatura, evapotranspiración y precipitación en la región homogénea I.....    | 71   |
| Cuadro N°9.0 Características descriptivas de la precipitación en la región homogénea I.....                   | 71   |
| Cuadro N°10.0 Climatología de temperatura, evapotranspiración y precipitación en la región homogénea II.....  | 74   |
| Cuadro N°11.0 Características descriptivas de la precipitación en la región homogénea II.....                 | 75   |
| Cuadro N°12.0 Climatología de temperatura, evapotranspiración y precipitación en la región homogénea III..... | 78   |
| Cuadro N°13.0 Características descriptivas de la precipitación en la región homogénea III.....                | 78   |
| Cuadro N°14.0 Análisis de tendencia para la zona de estudio.....  | 81   |
| Cuadro N°15.0 Resultado del análisis de regresión de la precipitación anual.....                              | 84   |
| Cuadro N°16.0 Resultado del análisis de regresión de la temperatura máxima anual.....                         | 86   |
| Cuadro N°17.0 Resultado del análisis de regresión de la temperatura mínima anual.....                         | 88   |

|   |     |
|---|-----|
| Cuadro N°18.0 Resultado del análisis de regresión de la temperatura media anual.....                            | 90  |
| Cuadro N°19.0 Resultado del análisis de regresión de la evapotranspiración anual .....                          | 91  |
| Cuadro N°20.0 Prueba de “T” para la consistencia de la media.....   | 95  |
| Cuadro N°21.0 Prueba de “F” para la consistencia de la desviación estándar                                      | 95  |
| Cuadro N°22.0 Tendencia de los caudales anuales y significación estadística.....                                | 96  |
| Cuadro N°23.0 Características descriptivas de los caudales registrados en la estación de aforo Salinar .....    | 97  |
| Cuadro N°24.0 Caudales medios anuales para diferentes persistencias – Cuenca Río Chicama .....                  | 102 |
| Cuadro N°25.0 Caudales medios mensuales para diferentes persistencias – Cuenca Río Chicama .....                | 102 |
| Cuadro N°26.0 Eventos húmedos y secos por décadas.....  | 104 |
| Cuadro N°27.0 comportamientos de los años secos, normales y húmedos..   | 105 |
| Cuadro N°28.0 Climatología de precipitación, temperatura y evapotranspiración en la Subcuenca Bajo Chicama..... | 106 |
| Cuadro N°29.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Medio Bajo Chicama .....                                | 107 |
| Cuadro N°30.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Medio Chicama..   | 108 |
| Cuadro N°31.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Medio Alto Chicama.....                                 | 109 |
| Cuadro N°32.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Santanero.....  | 110 |
| Cuadro N°33.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Ochape.....   | 111 |
| Cuadro N°34.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Quirripango.....  | 112 |
| Cuadro N°35.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Chuquillanqui.....                                      | 113 |
| Cuadro N°36.0 Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Alto Chicama.....                                       | 114 |

### **RELACIÓN DE GRÁFICOS DEL ANEXOS-AI**

- Diagrama de cajas e histogramas de precipitación de las estaciones que representan a la región homogénea I
- Diagrama de cajas e histogramas de precipitación de las estaciones que representan a la región homogénea II
- Diagrama de cajas e histogramas de precipitación de las estaciones que representan a la región homogénea III

### **RELACIÓN DE CUADROS DEL ANEXOS-AII**

Cuadro N°A2-1. Estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la precipitación multimensual.

Cuadro N°A2-2. Coeficientes del modelo matemático geoespacial de la precipitación por mes.

Cuadro N°A2-3. Estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la temperatura máxima mensual.

Cuadro N°A2-4. Coeficientes del modelo matemático geoespacial de la temperatura máxima mensual.

Cuadro N°A2-5. Estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la temperatura mínima mensual.

Cuadro N°A2-6. Coeficientes del modelo matemático geoespacial de la temperatura mínima mensual.

Cuadro N°A2-7. Estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la temperatura media mensual.

Cuadro N°A2-8. Coeficientes del modelo matemático geoespacial de la temperatura media mensual.

Cuadro N°A2-9. Estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la evapotranspiración mensual.

Cuadro N°A2-10. Coeficientes del modelo matemático geoespacial de la evapotranspiración mensual.

### **RELACIÓN DE MAPAS DEL ANEXOS-AIII**

Mapa M-01 Área de estudio.

Mapa M-02 Subcuencas de la cuenca del río Chicama.

Mapa M-03 Hidrografía de la cuenca del río Chicama.

Mapa M-04 Clasificación climática de la cuenca del río Chicama.

Mapa M-05 Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas.

Mapa M-06 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chicama.

Mapa M-07 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Bajo Chicama.

Mapa M-08 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Medio Bajo Chicama.

Mapa M-09 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Medio Chicama.

Mapa M-10 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Santanero.

Mapa M-11 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Quirripango.

Mapa M-12 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Medio Alto Chicama.

Mapa M-13 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Ochape.

Mapa M-14 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Chuquillanqui.

Mapa M-15 Parámetros morfométricos de la Subcuenca Alto Chicama.

Mapa M-16 Ubicación de la red de estaciones meteorológicas agrupadas por grupos homogéneos.

Mapa M-17 Regiones pluviométricas en la cuenca del río Chicama.

Mapa M-18 Mapa de precipitación multimensual de Enero.

Mapa M-19 Mapa de precipitación multimensual de Febrero.

Mapa M-20 Mapa de precipitación multimensual de Marzo.

Mapa M-21 Mapa de precipitación multimensual de Abril.

Mapa M-22 Mapa de precipitación multimensual de Mayo.  
Mapa M-23 Mapa de precipitación multimensual de Junio.  
Mapa M-24 Mapa de precipitación multimensual de Julio.  
Mapa M-25 Mapa de precipitación multimensual de Agosto.  
Mapa M-26 Mapa de precipitación multimensual de Septiembre.  
Mapa M-27 Mapa de precipitación multimensual de Octubre.  
Mapa M-28 Mapa de precipitación multimensual de Noviembre.  
Mapa M-29 Mapa de precipitación multimensual de Diciembre.  
Mapa M-30 Mapa de precipitación multianual.  
Mapa M-31 Mapa de temperatura máxima mensual de Enero.  
Mapa M-32 Mapa de temperatura máxima mensual de Febrero.  
Mapa M-33 Mapa de temperatura máxima mensual de Marzo.  
Mapa M-34 Mapa de temperatura máxima mensual de Abril.  
Mapa M-35 Mapa de temperatura máxima mensual de Mayo.  
Mapa M-36 Mapa de temperatura máxima mensual de Junio.  
Mapa M-37 Mapa de temperatura máxima mensual de Julio.  
Mapa M-38 Mapa de temperatura máxima mensual de Agosto.  
Mapa M-39 Mapa de temperatura máxima mensual de Septiembre.  
Mapa M-40 Mapa de temperatura máxima mensual de Octubre.  
Mapa M-41 Mapa de temperatura máxima mensual de Noviembre.  
Mapa M-42 Mapa de temperatura máxima mensual de Diciembre.  
Mapa M-43 Mapa de temperatura máxima Anual.  
Mapa M-44 Mapa de temperatura mínima mensual de Enero.  
Mapa M-45 Mapa de temperatura mínima mensual de Febrero.  
Mapa M-46 Mapa de temperatura mínima mensual de Marzo.  
Mapa M-47 Mapa de temperatura mínima mensual de Abril.  
Mapa M-48 Mapa de temperatura mínima mensual de Mayo.  
Mapa M-49 Mapa de temperatura mínima mensual de Junio.  
Mapa M-50 Mapa de temperatura mínima mensual de Julio.  
Mapa M-51 Mapa de temperatura mínima mensual de Agosto.  
Mapa M-52 Mapa de temperatura mínima mensual de Septiembre.  
Mapa M-53 Mapa de temperatura mínima mensual de Octubre.  
Mapa M-54 Mapa de temperatura mínima mensual de Noviembre.  
Mapa M-55 Mapa de temperatura mínima mensual de Diciembre.  
Mapa M-56 Mapa de temperatura mínima Anual.  
Mapa M-57 Mapa de temperatura media mensual de Enero.  
Mapa M-58 Mapa de temperatura media mensual de Febrero.  
Mapa M-59 Mapa de temperatura media mensual de Marzo.  
Mapa M-60 Mapa de temperatura media mensual de Abril.  
Mapa M-61 Mapa de temperatura media mensual de Mayo.  
Mapa M-62 Mapa de temperatura media mensual de Junio.  
Mapa M-63 Mapa de temperatura media mensual de Julio.  
Mapa M-64 Mapa de temperatura media mensual de Agosto.  
Mapa M-65 Mapa de temperatura media mensual de Septiembre.

Mapa M-66 Mapa de temperatura media mensual de Octubre.  
Mapa M-67 Mapa de temperatura media mensual de Noviembre.  
Mapa M-68 Mapa de temperatura media mensual de Diciembre.  
Mapa M-69 Mapa de temperatura media Anual.  
Mapa M-70 Mapa de evapotranspiración mensual de Enero.  
Mapa M-71 Mapa de evapotranspiración mensual de Febrero.  
Mapa M-72 Mapa de evapotranspiración mensual de Marzo.  
Mapa M-73 Mapa de evapotranspiración mensual de Abril.  
Mapa M-74 Mapa de evapotranspiración mensual de Mayo.  
Mapa M-75 Mapa de evapotranspiración mensual de Junio.  
Mapa M-76 Mapa de evapotranspiración mensual de Julio.  
Mapa M-77 Mapa de evapotranspiración mensual de Agosto.  
Mapa M-78 Mapa de evapotranspiración mensual de Septiembre.  
Mapa M-79 Mapa de evapotranspiración mensual de Octubre.  
Mapa M-80 Mapa de evapotranspiración mensual de Noviembre.  
Mapa M-81 Mapa de evapotranspiración mensual de Diciembre.  
Mapa M-82 Mapa de evapotranspiración Anual.

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

En el presente estudio denominado “Estudio Hidroclimático de la cuenca del río Chicama” se presenta los resultados de la caracterización hidroclimática de la cuenca del río Chicama. La información analizada corresponde a las variables temperatura, evapotranspiración, precipitación y caudales, como principales componentes del balance hídrico de la cuenca. Los datos utilizados corresponde a series climáticas mensuales las cuales han sido previamente sometidos a un análisis exploratorio, consistencia, homogeneidad completación y/o extensión.

Este tipo de estudio adquiere singular importancia, toda vez que se tiene caracterizados las principales variables climáticas asociados a la escurrentía de las cuencas desde una perspectiva temporal y espacial; que sirve como línea base para una adecuada la planificación y la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Chicama.

La información hidroclimática es presentada en una extensa representación gráfica, tabular y mapas, que llegan a detalle de subcuencas, información básica para futuros aprovechamientos hídricos y mejora del sistema de gestión y previsión hidrológica de la cuenca.

Por la extensión del área de estudio se ha tenido que utilizar técnicas de geoprocésamiento para la delimitación automática de las subcuencas del río Chicama y sus parámetros morfométricos; el análisis de la precipitación fue abordado regionalmente para caracterizar el comportamiento espacial y temporal de las series pluviométricas mediante la determinación de zonas homogéneas de precipitación.

### **1.2. OBJETIVOS**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Caracterizar espacial y temporalmente el comportamiento hidroclimático de la cuenca del río Chicama.

### **1.2.2.Objetivos específicos**

- Caracterizar los principales parámetros morfométricos en la cuenca y subcuencas del río Chicama
- Regionalizar la pluviometría de la zona de estudio
- Caracterizar las series climáticas regionales a nivel anual y mensual
- Caracterizar las series hidrológicas a nivel anual y mensual
- Elaborar mapas hidroclimáticos de la cuenca

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Los estudios que incluyen análisis de variables hidroclimáticas en el área de estudio son importantes por ser de singular utilidad en la planificación, ordenación del territorio y gestión ambiental, ya que el conocimiento de estas variables permite planificar el uso de algunos recursos naturales, como el agua. De igual manera un estudio de ciertas variables hidroclimáticas revelará hasta cierto punto características de valor hídrico y climático, lo cual podría de ser de utilidad en la administración hídrica. Asimismo los resultados obtenidos aun cuando son estimaciones aproximadas ofrecen un marco útil para posteriores investigaciones en los que se empleen métodos más directos, o simplemente en estudios más específicos, como por ejemplo a nivel de microcuenca. Finalmente el conocimiento del clima y de la distribución de los volúmenes de agua con que cuenta una cuenca o área de estudio es de gran importancia para planes de administración y gestión de los recursos hídricos.

## CAPÍTULO II: ANTECEDENTES Y ASPECTOS TEÓRICOS

### 2.1. ANTECEDENTES

Uno de los más importantes estudios hidrometeorológicos realizados a nivel de esta cuenca tiene una antigüedad de 40 años. El Consorcio alemán Lahmeyer-Salzgitter entre 1973 y 1974 elaboró la Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional, extenso estudio plasmado en 18 volúmenes. Aunque el estudio pone énfasis en el sector energía, existe una amplia información sobre las características morfométricas, hidráulicas e hidrológicas de las cuencas del Perú. En este estudio se hacen aproximaciones sobre la disponibilidad hídrica superficial a nivel de Perú por cuencas y subcuencas hidrográficas.

**SENAMHI–IILA–UNI** (1982), desarrollan el Estudio de la Hidrología del Perú, en cuya primera parte (Volúmen I) presentan la regionalización pluviométrica del territorio peruano, obtenida mediante el análisis probabilístico de las series de precipitación total anual de cada una de las 1377 estaciones meteorológicas disponibles, donde previamente se ha demostrado que la ley de probabilidades que mejor se ajusta a este tipo de variable es la logarítmico normal de la casualidad. La referida regionalización se realiza en dos etapas: La división en zonas pluviométricas, que se obtiene haciendo coincidir con una zona climática o con el reagrupamiento de una o más zonas climáticas, siempre y cuando los coeficientes de variación de las series de precipitación sean constantes o varíen en función de su valor medio anual multianual. En una segunda fase del análisis, cada una de las siete zonas pluviométricas obtenidas se ha subdividido en sub zonas pluviométricas, para lo cual mediante sucesivas aproximaciones, se han relacionado los valores de precipitación media anual multianual con la variable física que mejor representa la variación espacial de esta variable (altitud de la estación, distancia más corta al eje de la cordillera, distancia más corta al mar, o la latitud), como resultado se han obtenido 58 sub zonas pluviométricas. Mediante la aplicación de

los resultados del estudio es posible determinar la precipitación media anual multianual y su coeficiente de variación en cuencas relativamente grandes del territorio peruano.

**SENAMHI** (2004), desarrollo el estudio de balance hídrico superficial cuenca del río Chicama, cuyo objetivo fue contribuir al desarrollo del país mediante el conocimiento del comportamiento hidrológico y meteorológico de las principales variables que forman parte del ciclo hidrológico (precipitaciones, evaporación, transpiración, escurrimiento). Asimismo, conocer la disponibilidad del recurso agua en la cuenca a nivel espacial y temporal. En este estudio se identificó lo siguiente: que el 23% de la precipitación total anual se concentra en el mes de marzo, el período lluvioso se inicia en el mes de noviembre y termina en abril del año siguiente; siendo en este período donde se produce el 84% de la precipitación total del año, en el período mayo – octubre, se registra el 17% de la precipitación acumulada anual, siendo julio el mes más seco, donde se registra el 0,05% de la precipitación anual. La temperatura media en la cuenca registra un comportamiento variable, en su distribución espacial y temporal; registrándose en marzo las mayores temperatura, con valores que fluctúan entre 16,0° C y 24,0° y el más frío en agosto con 13,0°C y 19,0°C. En relación a la humedad relativa, se tiene que esta variable presenta un comportamiento uniforme en su distribución espacial y temporal, registrando durante el período abril - agosto los mayores valores que oscilan entre 80% y 82%, mientras que en el período noviembre - febrero se tiene los menores valores con 70% y 74%.

## **2.2. ASPECTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1. Parámetros morfológicos:**

Los parámetros morfológicos pretenden cuantificar determinados rasgos de la superficie de la cuenca a través de índices y terminologías que el hidrólogo ha ideado para analizar las características físicas de la cuenca ya que estas particularidades

juegan un papel condicionante en el régimen hidrológico. A continuación se detallan los parámetros morfométricos de la.

- **Área de la cuenca (A):** se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca.
- **Perímetro de la cuenca (P):** se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca.
- **Coefficiente de compacidad (K):** Se define como la relación entre el perímetro (P) de la cuenca y el perímetro de un círculo de área (A) igual al de la cuenca. De esta relación se obtiene la expresión:

$$K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots (1)$$

El coeficiente de compacidad indica la característica de redondez de una cuenca, tal es así que los coeficientes cercanos a 1, indican una igual distribución de áreas, tanto en largo como en ancho. Respecto al rango de variación de este coeficiente, se puede decir que está en función de la forma de la cuenca y de su magnitud. Así, cuencas muy alargadas pueden dar coeficientes de compacidad mayores a 2.

- **Factor de forma (F):** es la relación entre el ancho medio y la longitud del cauce principal de la cuenca. El ancho medio se obtiene dividiendo el área (A) de la cuenca entre la longitud del cauce principal (L).

$$F = \frac{A}{L^2} \dots \dots (2)$$

- **Densidad de drenaje (D<sub>c</sub>):** La densidad de drenaje se calcula a partir de la longitud total de la red de drenaje natural (L<sub>T</sub>) y el área total de la cuenca (A), empleando la siguiente expresión:

$$D_c = \frac{L_T}{A} \dots \dots (3)$$

- **Rectángulo equivalente:** es una representación geométrica, que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área (A) y perímetro (P) de la cuenca (y por lo tanto el mismo índice de compacidad), igual distribución de las alturas (por lo tanto igual curva hipsométrica), e igual distribución de terreno, en cuanto a sus condiciones de cobertura. El lado mayor (L) y menor (l) del rectángulo está dado por las siguiente ecuaciones matemáticas:

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \dots \dots \dots (4)$$

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right) \dots \dots \dots (5)$$

- **Altitud de frecuencia media:** es la altitud correspondiente al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes.

Numéricamente la elevación media de la cuenca se obtiene con la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\sum a * e}{A} \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

$E_m$  = Elevación media.

$a$  = Área entre dos contornos.

$e$  = Elevación media entre dos contornos.

$A$  = Área total de la cuenca.

- **Índice de pendiente:** El índice de pendiente, es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Con este valor se puede establecer el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce. Además, expresa en cierto modo, el

relieve de la cuenca. Se obtiene utilizando el rectángulo equivalente, con la siguiente ecuación:

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}} \dots \dots \dots (7)$$

Dónde:

$I_p$  =Índice de pendiente.

$n$  =Numero de curva de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos.

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  = Cotas de las  $n$  curvas de nivel consideradas.

$\beta_i$  = Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas  $a_i - a_{i-1}$  , por lo tanto  $\beta_i = \frac{A_i}{A_T}$ .

$L$  =Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (Km).

- **Pendiente de la cuenca:** Es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales, tiene una importancia directa en relación a la magnitud de la crecida. Existen diversos criterios para evaluar la pendiente de una cuenca en este estudio se utilizó el **criterio de Alvord**.
- **Pendiente de la cuenca:** El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca es un parámetro importante en el estudio del comportamiento de los recursos hídricos. Existen diversos criterios para determinar la pendiente del cauce en este estudio se utilizó la **ecuación de Taylor y Schwarz**.

### 2.2.2. Análisis de consistencia

Aliaga (1983), la no homogeneidad e inconsistencia en secuencias hidrológicas representa uno de los aspectos más importantes del estudio de la hidrología, particularmente en lo relacionado a la conservación, desarrollo y control de los recursos hídricos. Los datos hidrológicos a nivel mensual, recopilados y automatizados, se procesan con el fin de determinar su confiabilidad y consistencia, la que consiste en determinar si la información hidrológica registrada en cada una de las estaciones es representativa de la zona y no presentan ningún tipo de error.

El primer paso al efectuar la evaluación de los datos es verificar que el período de la estadística de la información que se va a utilizar sea consistente; quiere decir que la estación haya sido observada durante el período en la misma forma, criterio y que su instalación no haya sufrido variaciones de ningún tipo.

La consistencia de la información comprende la elaboración de tablas con valores promedios a nivel mensual y anual de la variable hidrológica, la construcción de histogramas, curvas de doble masa y pruebas estadísticas, con el fin de identificar y si es necesario cuantificar inconsistencias, saltos o tendencias de los datos.

- **Histogramas:** son gráficos que se construyen en coordenadas cartesianas, ploteando la precipitación con el tiempo.
- **Curva doble masa:** consiste en llevar los valores acumulados de la estación en estudio y en la abscisa los valores acumulados de una estación patrón, que viene a ser el promedio de varias estaciones índices.
- **Pruebas estadísticas:** comprende el empleo de los tests de: T – student y F – Fisher, con la finalidad de cuantificar la inconsistencia de la información. Mediante la prueba de T de

Student se analiza si los valores son estadísticamente iguales, es decir probar que ambos valores provienen de la misma población.

### **2.2.3. Diagrama de Cajas**

Los diagramas de caja y brazos son gráficas muy apropiadas para mostrar el comportamiento de los datos cuando interesa presentarlos estratificados por alguna variable cualitativa. Además que facilitan la comparación entre grupos, permite una rápida identificación de valores o datos atípicos (valores que son extremos en relación al resto de los valores). Cuando estos valores se obtienen en un diagrama de caja no deben ni ignorarse ni eliminarse, sino analizar cómo es que se han producido, a qué se deben, en dependencia del análisis se toma la determinación de ignorarlos o excluirlos de un determinado estudio.

### **2.2.4. Métodos de Regionalización pluviométrica**

La regionalización pluviométrica tiene como objetivo la identificación de zonas homogéneas de precipitación; es decir determinar a partir del conocimiento del comportamiento pluviométrico en las estaciones de observación grupos de estaciones que exhiben semejanzas en los patrones temporales de las series pluviométricas. Según Tucci, en hidrología el término de regiones homogéneas está asociado a regiones que poseen similitud hidrológica. Para Tucci las regiones homogéneas no implican necesariamente la existencia de espacios geográficos continuos; sino que la homogeneidad debe ser entendida como una semejanza en la respuesta ante funciones regionales. Por otro lado la determinación de zonas homogéneas de precipitación o caudal puede cumplir dos finalidades, uno determinar las características regionales del comportamiento hidrometeorológico y otro para la construcción de funciones regionales de frecuencias.

Una aplicación directa del análisis regional es la transposición de información en puntos donde no se dispone de puestos de observación, procedimiento muy común en el análisis hidrológico.

Los métodos más comunes de regionalización pluviométrica son los que se basan en las propiedades estadísticas de las series pluviométricas y a partir de las cuales se aplican técnicas de agrupamiento mediante procedimientos de análisis estadístico multivariado, como el Análisis de Componentes Principales y de Conglomerados o Cluster. Otros autores proponen complementariamente a los métodos estadísticos la utilización de otros criterios que incluyen factores climáticos, fisiográficos, geológicos, biológicos, la influencia de los factores antrópicos.

La escuela de hidrólogos franceses utiliza el Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos, aunque es un método diseñado exclusivamente para la crítica de la calidad y completación de datos, su uso se puede extender para la determinación de regiones homogéneas, como los estudios realizados en la vertiente peruana del océano pacífico y la cuenca amazónica.

#### **2.2.4.1. Análisis de Conglomerados o Cluster**

El AC no es más que un conjunto de técnicas que se utilizan para clasificar los objetos o casos en grupos relativamente homogéneos llamados conglomerados (clusters). Los objetos en cada grupo (conglomerado) tienden a ser similares entre sí (alta homogeneidad interna, dentro del cluster) y diferentes a los objetos de los otros grupos (alta heterogeneidad externa, ente clusters) con respecto a algún criterio de selección predeterminado. De este modo, si la clasificación es un éxito, los objetos dentro del cluster estarán muy cercanos unos de otros en la representación geométrica, y los clusters diferentes estarán muy apartados. Este análisis se conoce también como análisis de clasificación o taxonomía numérica.

El AC tiene como propósito esencial, agrupar aquellos objetos que reúnan idénticas características, es decir, se convierte así en una técnica de análisis exploratorio diseñada para revelar las agrupaciones naturales dentro de una colección de datos. Este análisis no hace

ninguna distinción entre variables dependientes (VD) y variables independientes (VI) sino que calcula las relaciones interdependientes de todo el conjunto de variables. Para la formación de los cluster o grupos existe diferentes criterios en las diferentes formas de agrupamiento jerárquico y no jerárquico. Los programas computacionales disponibles permiten explorar diferentes formas de los cluster.

#### **2.2.4.2. Vector Regional de Índices Pluviométricos**

Es un método de cálculo que proporciona una gran ayuda en tres tareas definidas que son la crítica, la homogeneización y la extensión de las precipitaciones anuales. El MVR fue desarrollado en ORSTOM por los investigadores Hiez G. (1977) y Brunet-Moret (1977). Actualmente este método viene incorporado como utilitario dentro del programa Hidraces creado por el IRD-Francia.

Está basada en la hipótesis que para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitaciones los totales pluviométricos anuales son pseudo-proporcionales, es decir que la razón entre los totales anuales de las estaciones de la zona tomadas 2 por 2 se conserva más o menos constante en el curso del tiempo, con una pequeña variación aleatoria cada año debida a la repartición de las lluvias dentro de la zona (tal tormenta localizada afectó solamente a un grupo de estaciones).

La idea básica del vector regional de índices pluviométricos anuales es la siguiente: en vez de comparar dos por dos estaciones por correlación o doble masa como se hace en los métodos clásicos, vamos a elaborar a partir de los datos disponibles una estación ficticia que sea una especie de promedio de todas las estaciones de la zona, con la cual vamos a comparar cada una de las estaciones.

El método del Vector Regional de índices pluviométricos anuales está basado sobre estas ideas sencillas. Si consideramos una zona del país con M estaciones y un período de estudio de N años, podemos buscar por el método de mínimos cuadrados cuales son los índices pluviométricos “regionales” anuales  $Z_i$  y las precipitaciones promedio extendidas que minimicen la sumatoria:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( \frac{P_{ij}}{P_j} - Z_i \right) \dots\dots\dots (8)$$

En donde:

i = índice de año

j = índice de estación

N = número de años

M = número de estaciones

$P_{ij}$  = precipitación anual en la estación j el año i

$P_j$  = precipitación media extendida al período de N años

$Z_i$  = índice pluviométrico regional del año i

La resolución del problema es dificultada por el hecho que ciertos de los  $P_{ij}$  no fueron observados y faltan. Sin embargo, es posible mediante el uso de una computadora, por descomposición en un sistema de (M-1) ecuaciones lineales a (M-1) desconocidas.

La serie de los índices cronológicos  $Z_i$  se llama “Vector Regional de Índices Pluviométricos Anuales”.

Investigadores del IRD mencionan que el MVR tiene las siguientes aplicaciones:

- La crítica de la calidad de las precipitaciones anuales
- Extensión de las precipitaciones anuales.

### **a) Utilización del MVR para la crítica de las precipitaciones anuales.**

El utilitario del software Hydraccess de cálculo del Vector Regional proporciona los coeficientes de correlación entre los datos observados en cada una de las estaciones y el Vector Regional. Si las estaciones consideradas pertenecen a una zona climática homogénea (sometida a las mismas influencias climáticas), esos coeficientes de correlación son generalmente elevados.

Un coeficiente de correlación más bajo en una estación que en las otras puede significar dos cosas:

- Esta estación está en las márgenes de la zona y es sometida a un clima un poco diferente.
- Esta estación contiene errores de observación.

Si esta estación está bien ubicada en el centro de la zona, la explicación probable es que tiene observaciones erróneas, así que un coeficiente de correlación bajo con el Vector Regional atrae la atención sobre una estación problemática.

La identificación de los años erróneos o dudosos es facilitada por una de las salidas del programa, donde se presentan para cada estación las diferencias entre los índices pluviométricos regionales e índices pluviométricos realmente observados.

Tomamos por ejemplo, un índice pluviométrico regional del año  $i$  igual a 1,41. Eso significa que a nivel de la zona de estudio, la precipitación fue excedente en un 41% en relación al promedio. Si en una estación  $j$  el promedio extendido al período de estudio es de 1250 mm, y el total de precipitación observado en el año  $i$  es de 1000 mm podemos calcular su índice pluviométrico observado en el año  $i$ .

$I_{Ai} = 1000 / 1250 = 0.8$ , o sea un déficit de 20%.

La diferencia al Vector Regional, es entonces de 0,8 menos 1,41 o sea -0,61. Tal diferencia al vector indica subestimación de la precipitación en la estación  $j$  este año, y es casi seguramente un error de observación o de copia. Sin embargo, se puede admitir un cierto rango de diferencia entre el Vector Regional y los índices pluviométricos de las estaciones, dependiendo de la situación de la estación (central o marginal) y de los índices de las estaciones vecinas. Esas diferencias son debidas a las lluvias localizadas que pueden haber afectado más o menos cierta estación. En regla general, las desviaciones al Vector Regional siguen una ley de GAUSS, y conociendo su desviación estándar  $\sigma$  (dada por el programa), se pueden admitir más o menos:

10% de desviaciones superiores a  $2 \times \sigma$

1% de desviaciones superiores a  $2.5 \times \sigma$

Se ve así que cuando una desviación al Vector Regional pasa el límite de  $2,5 \times \sigma$ , tiene mucha probabilidad de corresponder a un error en los datos, o por lo menos a un valor dudoso.

#### **b) Utilización del Vector Regional para la extensión de las precipitaciones anuales.**

Los índices pluviométricos regionales del Vector pueden servir a la reconstitución de datos anuales no observados en el período de estudio. En efecto, por definición, el índice pluviométrico  $Z_i$  regional del año  $i$  es una especie de promedio de los índices pluviométricos de las estaciones observadas en el año  $i$ , y representa la esperanza matemática (valor más probable) de un índice pluviométrico  $I_{pji}$  no observado en la estación  $j$  el año  $i$ . Eso nos permite estimar el valor más probable para la precipitación  $P_{ji}$  de la manera siguiente:

$$P_{ji} = Z_i \times P_j \dots\dots\dots (9)$$

En donde:

$P_{ji}$  = estimación de la precipitación anual en la estación  $j$  en el año  $i$ .

$Z_i$  = índice pluviométrico regional del año  $i$ .

$P_j$  = promedio inter-anual extendido al período de estudio en la estación  $j$ .

Para garantizar el valor estimado para una estación un cierto año, es necesario que se haya calculado el índice regional  $Z_i$  con un número suficiente de estaciones con observaciones este mismo año. El número de estaciones con datos necesarios para calcular un índice, debe ser al mínimo de orden de un cuarto del número total de estaciones.

En el caso contrario, la reconstitución de datos tendría menos certeza, y dependería mucho de la calidad y representatividad de las estaciones observadas en el año considerado.

En el caso que se pretenda usar los datos reconstituidos para un estudio frecuencial de lluvias anuales, puede ser importante cuando el número de datos a reconstituir es grande, considerar el hecho siguiente: cuando se reconstituyen datos por medio de métodos estadísticos, la varianza de la serie reconstituida es casi siempre inferior a lo que hubiera sido con una serie de observaciones reales.

En efecto, el método expuesto arriba asume que para cada año reconstituido, el índice pluviométrico de la estación es igual al índice pluviométrico regional. Pero en la realidad, no es así: el valor más probable para el índice pluviométrico de una estación es el índice regional  $Z_i$ , pero se observan desviaciones a este índice, de promedio nulo y de desviación estándar igual a  $\sigma$  repartidas según una distribución de GAUSS. Es decir que si por ejemplo un valor reconstituido es de un 1500 mm un año  $i$  en una estación  $j$  de promedio 1200 mm, el valor realmente ocurrido tiene la misma

probabilidad de haber sido 1450 mm que 1550 mm. Calculamos ahora el peso de este valor en la varianza de la estación j en los tres casos:

$$P_{ji} = 1500 \text{ mm} : \text{peso en varianza} = \frac{(1500 - 1200)^2}{N(N - 1)} = \frac{90000}{N(N - 1)}$$

$$P_{ji} = 1450 \text{ mm} : \text{peso en varianza} = \frac{(1450 - 1200)^2}{N(N - 1)} = \frac{62500}{N(N - 1)}$$

$$P_{ji} = 1550 \text{ mm} : \text{peso en varianza} = \frac{(1550 - 1200)^2}{N(N - 1)} = \frac{122500}{N(N - 1)}$$

Vemos así que respecto al valor más probable de 1500, el valor 1550 se traduce por un aumento de la varianza de  $32\,500 / N(N - 1)$ , cuando el valor equiprobable de 1450 se traduce por una reducción de varianza de solamente  $27\,500 / N(N - 1)$ .

Esa asimetría en las variaciones de la varianza es responsable de la disminución de la varianza de la serie reconstituida mencionada antes. Los valores reconstituidos representan los valores más probables de las precipitaciones realmente ocurridas. Sin embargo, las precipitaciones realmente ocurridas presentan generalmente una pequeña desviación a los valores reconstituidos, con más o menos el mismo número de desviaciones positivas y negativas. Como el cálculo de la varianza da más peso a las desviaciones positivas para valores superiores al promedio de la serie y negativas para valores inferiores, así queda demostrado que la varianza de la serie realmente observada es superior a la varianza de la serie reconstituida.

Siendo la varianza un estimador de dispersión de los valores de una serie alrededor del promedio, su valor es importante para el estudio frecuencial de valores extremos. Así que antes de emprender un estudio frecuencial con una serie de lluvias anuales incluyendo valores estimados, es necesario rectificar esta serie de valores estimados para obtener un valor verosímil de la varianza.

La reconstitución de datos no observados se hace en este caso con la fórmula:

$$P_{ji} = (Z_i + e) \times P_j \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

$P_{ji}$  = lluvia anual a reconstituir el año  $i$  en la estación  $j$ .

$Z_i$  = índice pluviométrico del Vector Regional del año  $i$ .

$P_j$  = promedio de la estación  $j$  extendido al período de estudio.

$e$  = desviación al índice pluviométrico regional, tomado al azar en una distribución de GAUSS de promedio 0 y de desviación estándar igual a la desviación estándar calculada en el cuadro de diferencias al Vector Regional.

### 2.2.5. Métodos de completación de datos pluviométricos

Los datos faltantes en un registro de lluvias son bastantes frecuentes y se deben a una gran variedad de causas. Por ejemplo: debido a desperfectos en el equipo de medición, enfermedad o sustitución del encargado de la observación, por interrupciones debidas a limitaciones presupuestales, etc. En general, los datos faltantes son estimados en base los registros de las estaciones cercanas o en base al propio registro.

Las técnicas que se utilizan para la completación de datos son las siguientes:

- Regresión lineal
- Regresión múltiple
- Promedios vecinales
- Razones promedios
- Correlación con estaciones vecinas

### 2.2.6. Error Cuadrático Medio

Es un estimador puntual que mide las diferencias en promedio entre los valores pronosticados y observados, siendo su fórmula:

$$ECM = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\phi_i - \phi_{iobs})^2}{N}} \dots \dots (11)$$

Dónde:

$\phi_i$  = Es el valor pronosticado para la celda i

$\phi_{iobs}$  = Es el valor observado en la celda i

N = es el número de valores analizados

## 2.2.7. Medidas de Distribución

### 2.2.7.1. Medida De Tendencia Central

- **Media** : Es la medida de posición central más utilizada, la más conocida y la más sencilla de calcular, debido principalmente a que sus ecuaciones se prestan para el manejo algebraico, lo cual la hace de gran utilidad. La media se define como la suma de todos los valores observados, dividido por el número total de observaciones. Siendo su fórmula para datos no agrupados la siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \dots \dots (12)$$

Dónde:

$\bar{X}$  = Media muestral

$x_i$  = Valor i-ésimo de la muestra

n = Número de datos de la muestra

### 2.2.7.2. Medidas de Dispersión

- **Desviación estándar**: Esta medida nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Siendo su fórmula para datos no agrupados la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) \dots \dots (13)}$$

Siendo:

$s$  = Desviación estándar

$\bar{x}$  = Media muestral

$x_i$  = Valor  $i$ -ésimo de la muestra

$n$  = Número de datos de la muestra

- **Coeficiente de variación:** El coeficiente de variación permite comparar la dispersión entre dos poblaciones distintas e incluso, comparar la variación producto de dos variables diferentes (que pueden provenir de una misma población).

$$C_V = \frac{S}{\bar{X}} \dots \dots (14)$$

$C_V$  = Coeficiente de variación

$S$  = Desviación estándar

$\bar{X}$  = Promedio aritmético

### 2.2.7.3. Medidas de Simetría y Asimetría

- **Asimetría:** Esta medida nos permite identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor del punto central (Media aritmética). La asimetría presenta tres estados diferentes, cada uno de los cuales define de forma concisa como están distribuidos los datos respecto al eje de asimetría. Se dice que la *asimetría es positiva* cuando la mayoría de los datos se encuentran por encima del valor de la media aritmética, la curva es *Simétrica* cuando se distribuyen aproximadamente la misma cantidad de valores en ambos lados de la media y se conoce como *asimetría negativa* cuando la mayor cantidad de datos se aglomeran en los valores menores que la media. Siendo su fórmula para datos no agrupados la siguiente:

$$C_S = \frac{n^2 M_3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots \dots \dots (15)$$

Dónde:

$$M_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n}$$

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

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

Nota: Es bastante difícil encontrar un coeficiente de Asimetría igual a cero (0), por lo que se suelen aceptar los valores cercanos ( $\pm 0.5$  aprox.).

#### 2.2.7.4. Medidas de Achatamiento

- **Curtosis:** Esta medida determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución. Por medio del *Coefficiente de Curtosis*, podemos identificar si existe una gran concentración de valores (*Leptocúrtica*), una concentración normal (*Mesocúrtica*) o una baja concentración (*Platicúrtica*). Siendo su fórmula para datos no agrupados la siguiente:

$$C_K = \frac{n^3 M_4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots \dots \dots (16)$$

Dónde:

$$M_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n}$$

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

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

Nota: Es bastante difícil encontrar un coeficiente de Curtosis de cero (0), por lo que se suelen aceptar los valores cercanos ( $\pm 0.5$  aprox.).

### 2.2.8. Evento ENOS

Cárdena, Et Ál (2012), El ENOS es un fenómeno oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico Tropical con la atmósfera circundante. Dicho fenómeno presenta en su componente oceánica, un contraste importante relacionado con las temperaturas superficiales del Océano Pacífico Tropical; dicho contraste establece la aparición de dos eventos dependiendo de estos valores de temperatura, los cuales son: El Niño, que se presenta al tener anomalías cálidas y La Niña, que se presenta al tener anomalías frías de temperatura, ambos en el océano Pacífico Tropical.

El ENOS tiene, además de la componente oceánica (El Niño, La Niña), una componente atmosférica, medida cuantitativamente por el Índice de Oscilación del Sur (IOS), el cual es un reflejo del cambio relativo entre la presión atmosférica a nivel del mar entre los sectores occidental (alrededores de Darwin, Australia) y central-oriental del océano Pacífico (alrededores de la isla Tahití). Por lo tanto, El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (**SENAMHI**) a través de su revista científica llamada "**REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFÉRICA**", publico la cronología elaborado por el doctor **LAVADO** de los eventos niño y niña originados a partir del IOS, tal como se muestra en el tabla N°1.0 .

**Tabla N°1.0 Cronología de eventos ENOS**

| NIÑO FUERTE | NIÑO MODERADO | NIÑA FUERTE | NIÑA MODERADA | AÑO NORMAL |
|-------------|---------------|-------------|---------------|------------|
| 1982-1983   | 1972-1973     | 1970-1971   | 1974-1975     | 1966-1967  |
| 1991-1992   | 1977-1978     | 1973-1974   | 1998-1999     | 1967-1968  |
| 1997-1998   | 1986-1987     | 1975-1976   | 1999-2000     | 1968-1969  |
|             | 1987-1988     | 1988-1989   | 2000-2001     | 1969-1970  |
|             | 1992-1993     | 2010-2011   | 2006-2007     | 1976-1977  |
|             | 1993-1994     |             | 2007-2008     | 1978-1979  |
|             | 1994-1995     |             | 2008-2009     | 1979-1980  |
|             | 2002-2003     |             | 2011-2012     | 1980-1981  |
|             | 2004-2005     |             |               | 1981-1982  |
|             |               |             |               | 1983-1984  |
|             |               |             |               | 1984-1985  |
|             |               |             |               | 1985-1986  |
|             |               |             |               | 1989-1990  |
|             |               |             |               | 1990-1991  |
|             |               |             |               | 1995-1996  |
|             |               |             |               | 1996-1997  |
|             |               |             |               | 2001-2002  |
|             |               |             |               | 2003-2004  |
|             |               |             |               | 2005-2006  |
|             |               |             |               | 2009-2010  |

Fuente: Revista Peruana Geo-Atmosférica

### 2.2.9. Análisis de tendencia

El concepto de tendencia está relacionado con el estudio de series temporales. En un sentido general, es un patrón de comportamiento de los elementos de un entorno particular durante un período. En términos del análisis técnico, la tendencia es simplemente la dirección o rumbo de la serie temporal. Pero es preciso tener una definición más precisa para poder trabajar. Es importante entender que las series temporales no se mueven en línea recta en ninguna dirección. Los movimientos en las variables se caracterizan por un movimiento zigzagueante. Estos impulsos tienen el aspecto de olas sucesivas con sus respectivas crestas y valles. La dirección de estas crestas y valles es lo que constituye la tendencia de la serie temporal (precipitación), ya sea que estos picos y valles vayan a la alza (tendencia positiva), a la baja (tendencia negativa) o tengan un movimiento constante.

## 2.2.10. Métodos de Interpolación

La interpolación de puntos es una herramienta importante a la hora de generar puntos a partir de una muestra de puntos menor. Es necesario por lo tanto, poseer un algoritmo o fórmula para generar tales puntos que utilizaremos para la representación gráfica de la superficie generada. Hay que entender que los métodos de interpolación intentan aproximar una función mediante un polinomio, llamado polinomio algebraico. Una condición que debe cumplir la función a interpolar es que sea continua en un intervalo cerrado y acotado.

Entre los diferentes métodos de interpolación utilizados, se encuentra los siguientes:

### 2.2.10.1. Inversa de la Distancia Ponderada

El método es conocido como **IDW** por su acrónimo en inglés (inverse distance weighted), el método se basa en el cálculo de un valor para sitios no muestreados para lo cual utiliza un promedio ponderado de los valores de sitios cercanos que si se muestrearon. La ponderación es producto de una función inversamente proporcional a la distancia entre el punto a estimar y el punto muestreado como se expresa en la siguiente función lineal:

$$\hat{\beta}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} \beta(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \dots \dots \dots (17)$$

$\hat{\beta}(x_0)$  = Valor observado en el sitio no muestreado  $X_0$ .

$\beta(x_i)$  = Valor observado en el sitio  $X_1$ .

$d_i^p$  = Distancia desde cada sitio muestreado hasta el sitio no muestreado a estimar.

$p$  = Exponente de distancia (el cual es definido iterativamente hasta lograr el mínimo error medio)

$n$  = Numero de sitios muestreados

### 2.2.10.2. Kriging

Kriging es el método de cálculo de una variable regional en un punto, al interior de una superficie o dentro de un volumen usando un criterio de minimización de la estimación de la varianza. Para ello se resuelve un conjunto de ecuaciones utilizando la información presente en el variograma y las distancias relativas entre los datos y la posición del punto (o bloque/volumen) donde el valor interpolado es pedido. Estas ecuaciones contiene la covarianza entre el punto a ser estimado y los datos y las covarianzas entre los datos mismos. Kriging es un método de interpolación exacto en el sentido que su estimación en un punto de control coincide con el valor observado.

### 2.2.11. Transposición de Caudales

En el caso que se requiera información de caudales en una subcuenca y la estación fluviométrica no coincida con el lugar donde se requiere información, se puede utilizar la ecuación 18, la cual se considera como la más adecuada, ya que no sólo relaciona área y caudal sino que también relaciona el aporte pluviométrico de la cuenca.

$$Q_x = \frac{(A_x * P_x) * Q}{A * P} \dots \dots \dots (18)$$

Dónde:

$Q_x$  = Caudal a estimar subcuenca en  $m^3/s$ .

$A_x$  = Área de la subcuenca en  $Km^2$ .

$P_x$  = Precipitación espacial sobre la subcuenca en mm.

$Q$  = Caudal del río en  $m^3/s$ .

$A$  = Área de la cuenca.

$P$  = Precipitación espacial sobre la cuenca.

### **2.2.12. Curva de duración**

Villón (2002), la curva de duración llamada también como curva de persistencia, permanencia de caudales o curva de caudales clasificados, es una curva que indica el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Esta curva puede ser definida para caudales diarios, mensuales anuales, etc.

### **2.2.13. Tiempo de concentración**

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo que máximo; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida. En este estudio se ha utilizado las formulas empíricas de “*Kirpich*” y “**California highways and Public Works**” (**Kirpich**) para cuencas cuya área sea superior a 200 [Há]

### **2.2.14. Modelo de elevación digital (MED)**

Los MED son estructuras numéricas de datos que representan la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Los más comunes son los de estructura tipo raster, que consisten en una malla o matriz de celdas cuadradas con la información de elevación de cada celda.

En los MED tipo raster, la ubicación de la celda tiene implícito en concepto de fila, columna georreferenciada en algún sistema de coordenadas geográficas o de proyección plana conocida.

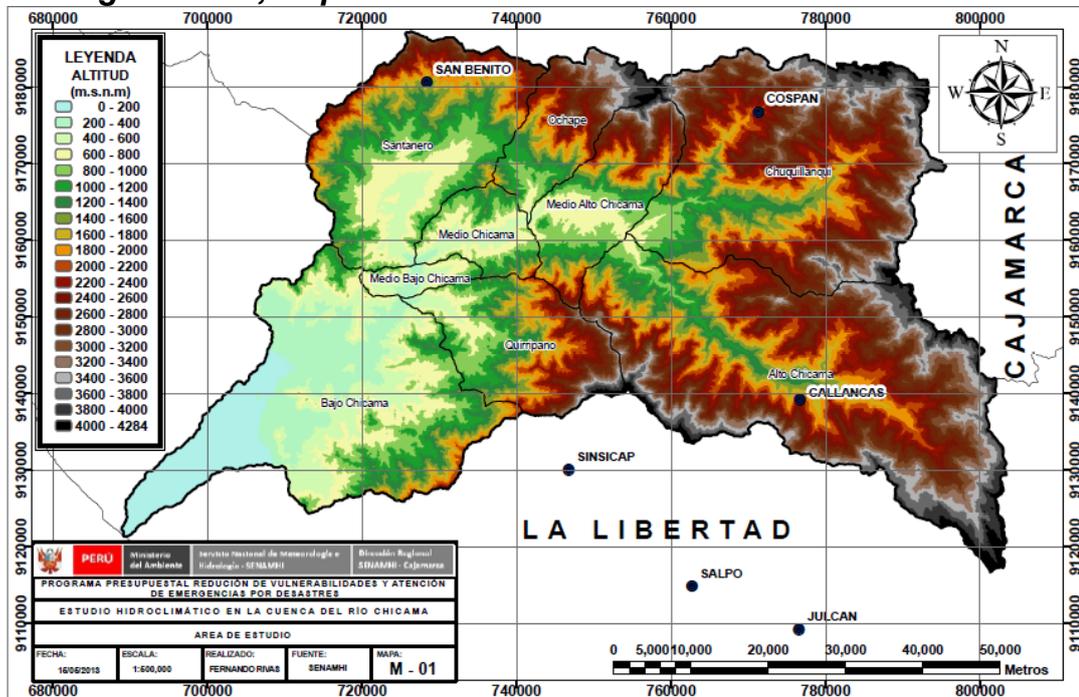
## CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS

### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1.1. Ubicación

La Cuenca del río Chicama está localizada entre las coordenadas UTM Norte 9110000 a 9190000, y coordenadas Este 680000 a 820000; con una altitud que fluctúa entre los 0 y 4284 m.s.n.m. El mapa de ubicación M-01 se muestra en el anexo A-III y en la figura N°1.0

**Figura N°1.0, Mapa de ubicación de la cuenca del río Chicama**



Fuente: elaboración propia

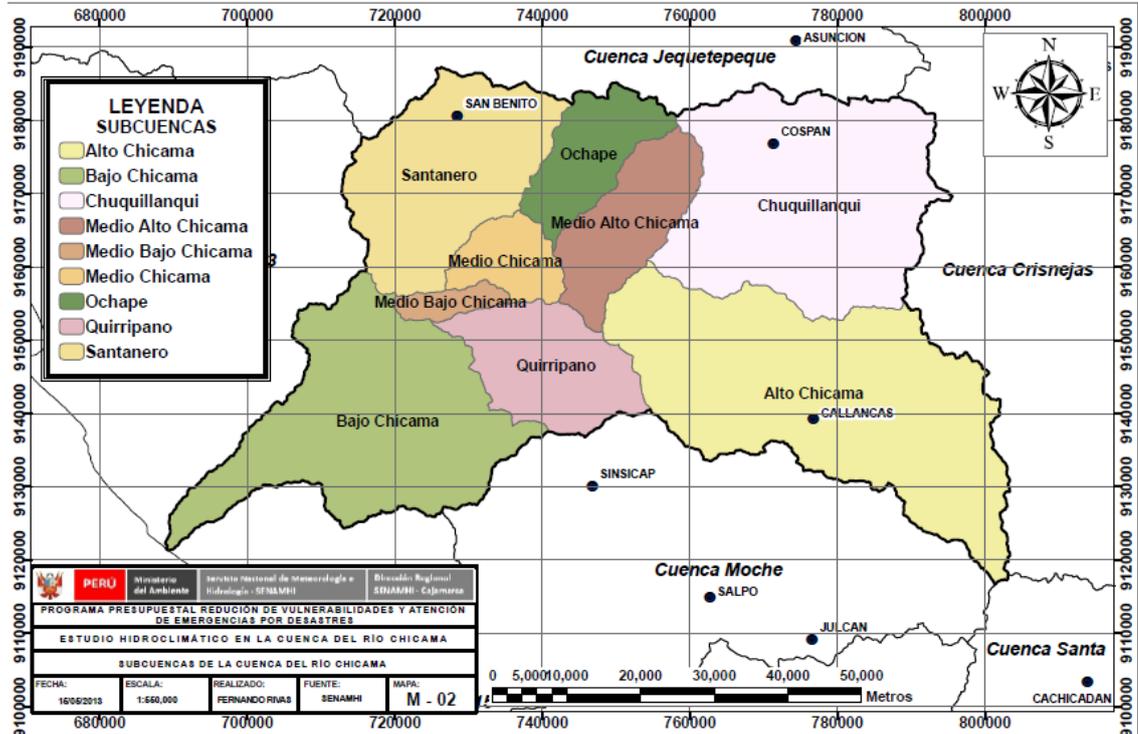
#### 3.1.2. Descripción de La Cuenca

##### 3.1.2.1. Demarcación hidrográfica

Hidrográficamente la cuenca del Río Chicama limita por el Norte con la cuenca del río Jequetepeque, por el sur con la cuenca del río Moche, por el este con la cuenca del río Crisnejas y por el oeste con el océano Pacífico. El mapa de demarcación hidrográfica M-02 se muestra en el anexo A-III y en la figura N°2.0

Posee 09 sub-cuencas, las cuales son: Sub-cuenca Bajo Chicama, Sub-cuenca Medio Bajo Chicama, Sub-cuenca Medio Chicama, Sub-cuenca Santanero, Sub-cuenca Quirripango, Sub-cuenca Ochape, Sub-cuenca Medio Alto Chicama y Sub-Cuenca Chuquillanqui.

**Figura N°2.0 Demarcación Hidrográfica de la Cuenca del Río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

**3.1.2.2. Demarcación política**

A continuación el cuadro N°1.0 muestra la demarcación política de la cuenca del río Chicama

**Cuadro N° 1.0, Demarcación política de la cuenca del río Chicama**

| Cuenca  | Departamento         | Provincia   |
|---------|----------------------|---|
| Chicama | Libertad y Cajamarca | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ascope</li> <li>• Santiago de chuco</li> <li>• Otuzco</li> <li>• Gran Chimú</li> <li>• Cajamarca</li> <li>• Contumaza</li> </ul> |

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

### 3.1.2.3. Hidrografía

La cuenca del río Chicama posee un drenaje hacia el Océano Pacífico en cual discurre Este a Oeste, comenzando desde las alturas de la cadena montañosa. Asimismo el río Chicama nace en las alturas de las provincias de Otuzco, Gran Chimú y Contumazá, en el cerro Collacuyan. Sus principales afluentes son los ríos Pinchaday, Huanca y San Felipe. La dirección general del río es de N.E. a S.O. La desembocadura del río Chicama está situada a 148 km al Norte de la desembocadura del río Santa, y a 32 km, al Norte del valle Santa Catalina.

Los principales Afluentes del río Chicama se muestran en el cuadro N°2.0

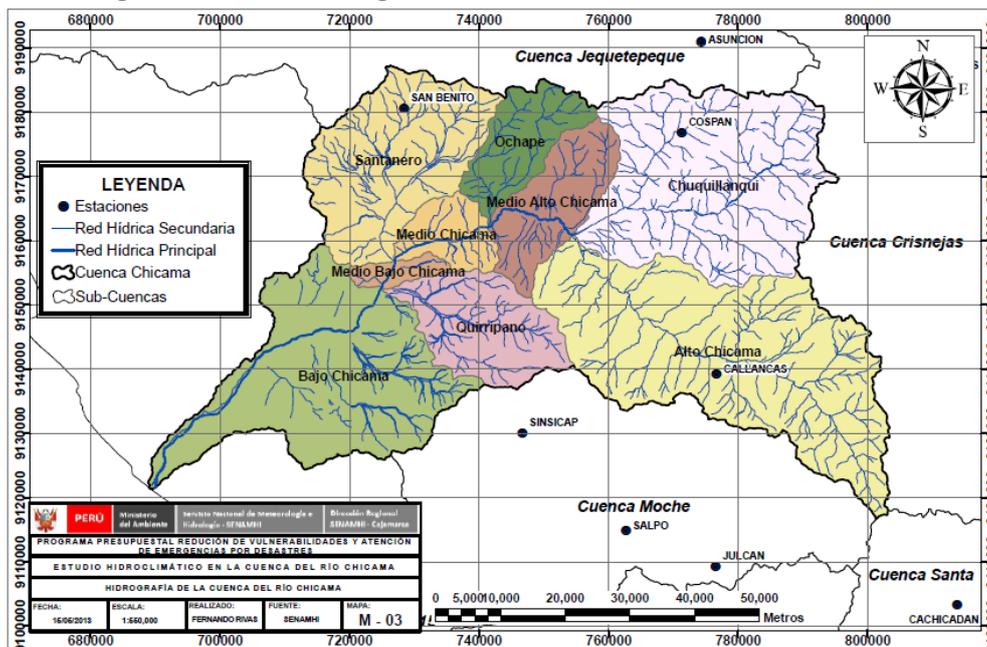
**Cuadro N° 2.0, Afluentes del río Chicama**

| Cuenca Hidrográfica | Río Principal | Principales Afluentes   |  |
|---------------------|---------------|---|--|
|                     |               | Margen Derecha  | Margen Izquierda   |
| Chicama             | Río Chicama   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Río San Jorge</li> <li>• Río Cospán</li> <li>• Río Chepino</li> <li>• Río Santanero</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Río Huaranchal</li> <li>• Río Grande</li> <li>• Río Quirripaño</li> </ul> |

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

El mapa M-03 de la delimitación hidrográfica en la cuenca del río Chicama se muestra en anexo A-III y en la figura N°3.0

**Figura N°3.0 Hidrografía de la Cuenca del Río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

#### **3.1.2.4.Suelos**

El valle del río Chicama, presenta en su mayor parte buenas condiciones edáficas, no disponiendo, sin embargo, de recursos hídricos suficientes como para abastecer la totalidad de sus requerimientos. Asimismo, presenta fuertes problemas de drenaje y salinidad, los que se manifiestan principalmente en la parte baja, entre la margen derecha del río Chicama y el extremo Norte del Valle (zonas de Salamanca, Molinos, Macabi, Paiján).

La cuenca alta, comprende desde la parte inferior del flanco occidental hasta aproximadamente los 1600 msnm ofrece un cuadro definitivamente árido, de topografía abrupta, en la que predominan las formaciones líticas asociadas a los litosoles, que se hallan en menor proporción. En los sectores de pendiente suaves, se presentan suelos profundos, pardo desérticos.

Desde los 1600 msnm hasta los 3700 msnm presentan suelos profundos, con gran desarrollo genético, cuya fertilidad y naturaleza dependen de la composición litológica de la zona. Sin embargo, la topografía muy agreste solo permite escasa agricultura en los lugares de pendientes suaves o en áreas vecinas a los ríos. Asociado a estas características, persiste la presencia de litosoles y formaciones líticas.

En áreas sobre los 3700 msnm el factor climático se hace sumamente adverso en lo que se refiere a la temperatura, la que desciende a niveles por debajo de 0°C. Esta superficie, de topografía variada presenta suelos profundos aunque menos desarrollados que en la región altitudinal anterior. Se observa la presencia de litosoles y formaciones líticas.

#### **3.1.2.5.Geología**

Desde el punto de vista geológico, la zona en estudio está formada por un heterogéneo conjunto de rocas sedimentarias metamórficas e ígneas intrusivas y extrusivas. Las rocas sedimentarias son tanto de facies marinas como semicontinental y están representadas principalmente por areniscas, lutitas, limolitas, calizas y conglomerados. Entre las rocas

metamórficas, destacan las cuarcitas y pizarras. Las rocas ígneas intrusivas están constituidas por granitos, granodioritas, adamelitas, etc. Y sus afloramientos se presentan desde la faja costera hasta el sector de la cuenca alta, formando parte del Batolito Andino. Las rocas ígneas extrusivas están representadas principalmente por derrames andesíticos y tufos riolíticos. La edad de estas rocas, que forman la columna geológica de la cuenca, oscila entre el Triásico superior-Jurásico inferior y el Cuaternario reciente.

Estructuralmente, la cuenca del río Chicama presenta dos sectores bien diferenciados; uno, que corresponde a la faja costera y estribaciones occidentales de los Andes, y otro, que abarca las partes media y alta de la cuenca. En el primero, solo se presentan fallas y pliegues de escasa significancia, y, en el segundo el tectonismo ha alcanzado su mayor desarrollo, habiéndose generado fallamientos y plegamientos de gran magnitud.

### **3.1.2.6.Clima**

En base, al mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI (1988) desarrollado según el método de Thornthwaite. La cuenca del Chicama presenta las siguientes características climáticas: (Ver mapa M-04 en el Anexo A-III o en la figura N° 4.0).

- ***Tipo climático Desértica semicálida [E(d) B1 ' H3 ]***

Abarca toda la región costera hasta los 2 000 msnm, caracterizándose por la deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y humedad relativa calificada como húmeda.

- ***Tipo climático Semi seca y templada [C(o,i,p) B2 ' H3 ]***

Zona semiseca, templada, se caracteriza por deficiencias de lluvias en el otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda, este tipo de clima se ubica desde los 2 000 hasta 3 000 msnm.

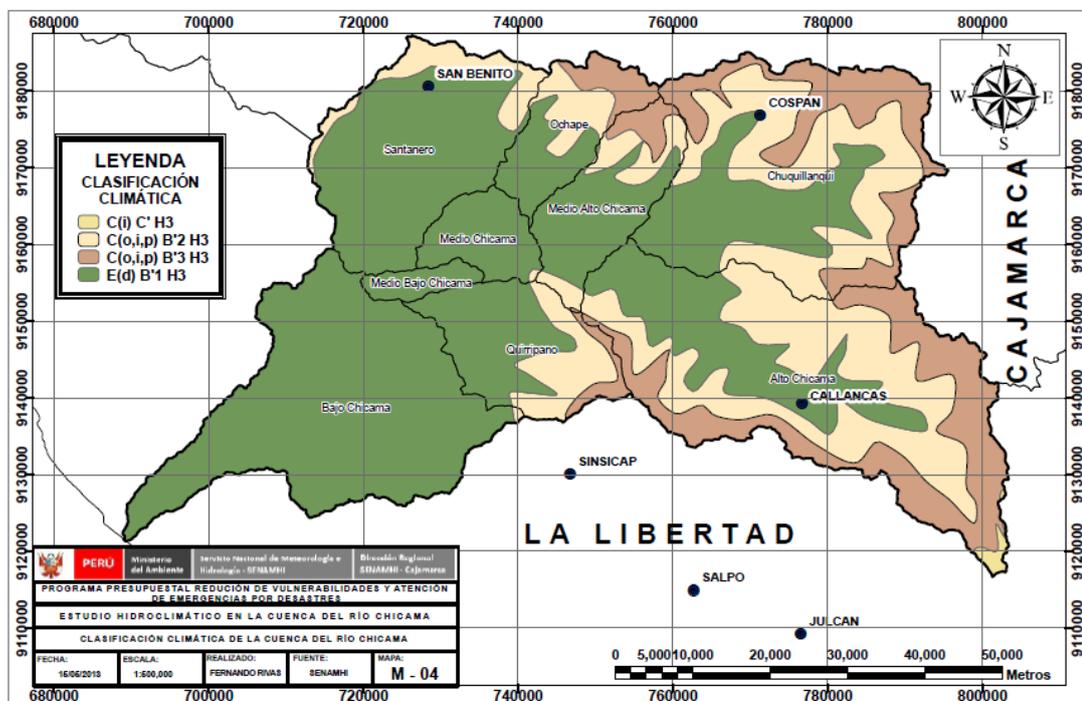
- **Tipo climático Semiseca y semifrío [C(o,i,p) B3 ' H3 ]**

La zona comprendida desde los 3 000 hasta los 4 000 msnm, se caracteriza por la deficiencia de lluvias en el período mayo – setiembre, con humedad relativa calificada como húmeda.

- **Tipo climático semiseco frío [C(i) C' H3 ]**

Zona comprendida entre los 4 000 a 4284 msnm, se caracteriza por deficiencia de lluvias en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

**Figura N°4.0 Clasificación Climática de la Cuenca del Río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.2.7. Ecología

La cuenca estudiada ofrece una configuración medio ambiental muy variada, representada por seis formaciones ecológicas o zonas de vida natural:

- Desierto Pre – montano (d-PM), posee condiciones adecuadas para la agricultura intensiva bajo riego, especialmente de caña de azúcar. Se

extiende desde el litoral hasta los 500 y 600 msnm. Se caracteriza por presentar un clima extremadamente árido y semi – calido.

- Matorral Desértico Pre – Montano (md – PM), se existente inmediatamente por encima de la formación Desierto Pre – montano (d-PM) hasta los 1200 msnm en el sector oriental y 1300 msnm en los sectores noroccidental y suroccidental, respectivamente. Estas variaciones indican que, mientras en el sector central de la cuenca, la aridez ha perdido altitud, en los sectores extremos de la misma la aridez gana altitud, debido principalmente a la influencia marítima.
- Monte Espinoso Pre – Montano (me – PM) alcanza una altitud entre los 1900 y 2100 msnm, se caracteriza por presentar un clima semi-arido y templado, con tendencia a sub-húmedo en el área próxima a su límite altitudinal superior.
- Bosque seco Montano Bajo (bs-MB), se caracteriza por presentar un clima que puede calificarse como sub-húmedo y templado con tendencia a humedito en su límite superior sobre los 2 600 msnm y 2800 msnm.
- Pradera Húmeda Montano (ph-M), llegas hasta los 4 000 msnm, zona donde se desarrolla una agricultura de secano. Desde el punto de vista topográfico presenta una configuración montañosa constituida por colinas de relieve ondulado a semi-accidentado, laderas de montañas de relieve suave y cerros escarpados y abruptos.
- Pradera Muy Húmedo Montano (pmh-M), comprende desde los 4000 msnm y la divisoria de aguas de la cuenca en algunos sectores alcanza los 4 200 msnm. La vegetación natural está conformada por gramíneas de tipo forrajero. Presenta una configuración montañosa compuesta por colinas y laderas de relieve suave a semi – accidentado, interrumpidas por abruptas elevaciones rocosas.

### **3.1.2.8.Humedad Relativa**

A nivel media esta variable registra un comportamiento uniforme en su distribución espacial y temporal, registrando durante el mes de marzo mayores valores que varían de 78% a 81%, mientras que en el mes de agosto se tiene valores menores fluctuante de 72% y 80%.

### **3.1.2.9.Horas de Sol**

La distribución de las horas de sol a nivel espacial y temporal, registra un comportamiento variable; caracterizándose por presentar en promedio, valores altos durante enero, febrero y marzo, para altitudes bajas; mientras que para las altitudes altas el comportamiento es inverso, con valores mayores durante agosto que fluctúa entre 200 hrs y 290 hrs y menores valores en febrero que varían entre 85 hrs y 145 hrs.

### **3.1.2.10.Velocidad de Viento**

La distribución eólica en la cuenca, experimenta un comportamiento variable en su distribución espacial y temporal, registrándose los mayores valores en la parte baja de las cuencas, y a medida que la altitud aumenta el valor de la velocidad de viento disminuye, con valores mayores durante setiembre que fluctúa entre 2,1 m/s y 4,1 m/s, y con valores menores durante abril variando entre 1,0 m/s y 3,0 m/s.

## **3.2. INFORMACIÓN UTILIZADA**

### **3.2.1. Información Cartográfica**

- La base digital del Perú desarrollada automatizados en el año 2002 por el Ministerio de Educación y el Instituto Nacional de Recursos Naturales – Perú a escala 1/100000.
- Imágenes del radar topográfico SRTM de la NASA disponible en el sitio web del CGIAR (Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional) <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/>

- Mapa climático del Perú, escala 1/100000 elaborado por el SENAMHI

### 3.2.2. Información hidrometeorológica

- Series mensuales de caudales (1977 – 2010)
- Series mensuales precipitación y temperatura (1966 -2012)

En el Cuadro 3.0 se detalla la red de estaciones utilizada en este estudio

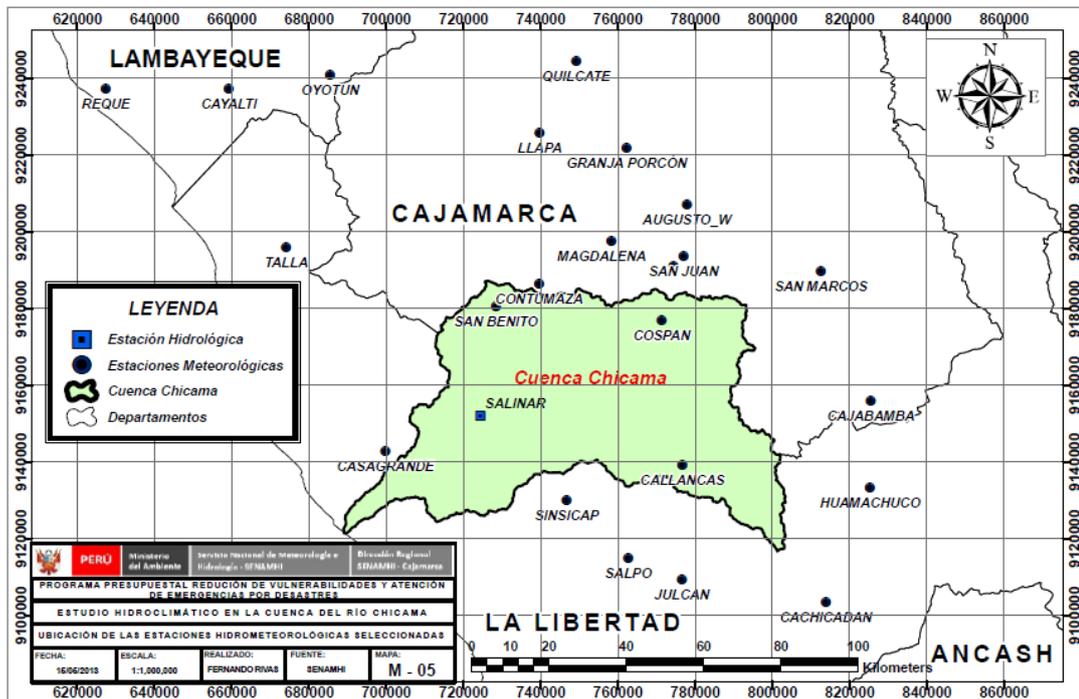
**Cuadro N° 3.0, Red de estaciones meteorológicas e hidrológicas seleccionadas**

| N° | ESTACIONES     | CATEGORIA  | LATITUD (m)     | LONGITUD (m)     | ALTITUD(m.s.n.m) |
|----|----------------|------------|-----------------|------------------|------------------|
| 1  | ASUNCIÓN       | CO         | 9190992.0       | 774313.0         | 2194             |
| 2  | COSPAN         | CO         | 9176794.5       | 771282.7         | 2227             |
| 3  | MAGDALENA      | CO         | 9197487.2       | 758321.2         | 1275             |
| 4  | SAN JUAN       | CO         | 9193637.1       | 777022.3         | 2234             |
| 5  | AUGUSTO W      | MAP        | 9207071.7       | 777793.8         | 2660             |
| 6  | SAN BENITO     | CO         | 9180637.9       | 728400.5         | 1600             |
| 7  | SAN MARCOS     | CO         | 9189677.0       | 812542.9         | 2298             |
| 8  | CAJABAMBA      | CO         | 9155831.6       | 825454.2         | 2612             |
| 9  | CACHICADAN     | CO         | 9103362.6       | 813838.9         | 2890             |
| 10 | JULCAN         | PLU        | 9109234.1       | 776528.6         | 3460             |
| 11 | HUAMACHUCO     | CO         | 9133323.6       | 825268.4         | 3290             |
| 12 | CALLANCAS      | CO         | 9139265.0       | 776679.1         | 2074             |
| 13 | LLAPA          | CO         | 9225728.5       | 739704.2         | 2900             |
| 14 | SALPO          | CO         | 9114908.3       | 762688.8         | 3250             |
| 15 | SINSICAP       | PLU        | 9130058.9       | 746712.4         | 2269             |
| 16 | TALLA          | CO         | 9195977.5       | 674063.8         | 105              |
| 17 | CAYALTI        | CO         | 9237310.7       | 659222.9         | 70               |
| 18 | REQUE          | CO         | 9237366.3       | 627361.6         | 15               |
| 19 | OYOTUN         | CO         | 9240973.0       | 685422.6         | 180              |
| 20 | CASAGRANDE     | CLIM       | 9142898.7       | 699744.1         | 124              |
| 21 | CONTUMAZA      | CO         | 9186334.2       | 739517.4         | 2610             |
| 22 | GRANJA PORCON  | CO         | 9221839.4       | 762191.0         | 3261             |
| 23 | QUILCATE       | PLU        | 749157.0        | 9244429.8        | 3250             |
| 24 | <b>SALINAR</b> | <b>HLG</b> | <b>724315.5</b> | <b>9152011.8</b> | <b>330</b>       |

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°5.0 y mapa M-05 del anexo A-III se muestra la red de estaciones meteorológica e hidrológicas utilizada en este estudio

**Figura N°5.0 Ubicación de Estaciones meteorológicas e hidrológicas Seleccionadas**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3. Software y Equipos

#### 3.2.3.1. Software

- *ArcGIS10 y extensiones:* Spatial Analyst, Geostatistical Analyst, Arc Hydro tools y Hec-GeoHMS
- Hydracces
- Minitab 16
- Microsoft Office 2010: Excel y Word.
- TREND
- Hydrognomon 4

#### 3.2.3.2. Equipos

- Pc CORE i7 de 3ra Generación

### **3.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.3.1. Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca y sus Sub-cuencas**

Para la evaluación de los principales parámetros morfométricos de la cuenca y sus Sub-cuencas se ha utilizado el DEM del radar altimétrico de la NASA SRTM de 30 m de resolución espacial. Las imágenes son extraídas del sitio web del CGIAR <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/>

Todo el proceso de tratamiento de las imágenes del SRTM se realizó en ArcGIS10, mediante las extensiones Spatial Analyst, Arc Hydro tools y Hec-GeoHMS se delimitaron la cuenca, Sub-cuencas, red de drenaje y demás parámetros morfométricos.

#### **3.3.2. Selección de estaciones y control de calidad de los datos hidrometeorológicos**

Se seleccionó las estaciones meteorológicas operativas dentro y fuera de la cuenca del Chicama que tengan un registro histórico mayor a treinta años, algunas estaciones presentan discontinuidad en la serie debido a que las estaciones en algunos años fueron paralizadas. A continuación se presenta el control de calidad para las variables de precipitación, temperatura y caudales.

##### **3.3.2.1. Control de calidad de la precipitación**

Un primer filtro para el control de los datos consistió en determinar mediante un análisis exploratorio de datos, los valores de precipitación que se apartaban de la comportamiento general de la muestra; procedimiento conocido como análisis de datos dudosos o “outliers” que se detecta mediante métodos gráficos como los diagramas de cajas o Box Plot que se procesó en MINITAB.

Un segundo nivel de control fue aplicar un análisis de conglomerados para determinar grupos homogéneos los cuales fueron ratificados aplicando el

Método del Vector Regional de Indices Pluviométricos con el este método se afino la generación de grupos homogéneos, se realizó una crítica a los datos de precipitación y asimismo se utilizó para obtener la completación y extensión de los datos pluviométricos por cada grupo homogéneo.

### **3.3.2.2. Control de calidad de la temperatura**

El control de calidad consistió en determinar mediante un análisis exploratorio de datos, los valores de temperatura que se apartaban de la comportamiento general de la muestra; procedimiento conocido como análisis de datos dudosos o “outliers” que se detecta mediante métodos gráficos como los diagramas de cajas o Box Plot que se procesó en MINITAB.

### **3.3.2.3. Control de calidad de los caudales**

El control de calidad consistió en determinar mediante un análisis exploratorio de datos, los valores de caudales que se apartaban de la comportamiento general de la muestra; procedimiento conocido como análisis de datos dudosos o “outliers” que se detecta mediante métodos gráficos como los diagramas de cajas o Box Plot que se procesó en MINITAB. Los “outliers” encontrado en la serie de caudales de la estación Salinar fueron analizados de manera comparativa con los datos de la serie de caudales de la estación hidrológica Yonan ubicada en la cuenca del río Jequetepeque, se tomó la estación hidrológica Yonan de forma comparativa ya que la cuenca del chicama con la del Jequetepeque pertenecen a una región hidrológica homogénea según el estudio del **“ATLAS DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DEL PERÚ”** realizado en el **marzo del 2011**.

Un segundo nivel de análisis fue aplicar un análisis de doble masa en donde se identificó quiebres en la serie los cuales posteriormente fueron evaluados realizando un análisis estadístico en donde se analizó la media y la desviación estándar de la muestra.

### **3.3.3. Determinación de regiones pluviométricas**

Se utilizó una técnica estadística de regionalización de la pluviometría empleando el método multivariado de Análisis Cluster. Se ensayaron diferentes formas de análisis de los datos de precipitación mensual para su agrupamiento, según los siguientes criterios:

- a) Considerando toda la serie histórica de precipitación por cada estación
- b) Considerando los principales parámetros estadísticos de la precipitación nivel mensual por cada estación
- c) Combinando (a) y (b) con información de ubicación geográfica de las estaciones y altitud

Los agrupamientos preliminares derivados del proceso anterior fueron refinados con el Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos, culminado el análisis cuando las estaciones que formaban los grupos mostraban una mejor correlación con el Vector Regional y desviación estándar de desvíos es baja.

Cabe señalar que el proceso estadístico de agrupamiento es reiterativo hasta obtener regiones coherentes con las características fisiográficas y climáticas de la zona de estudio.

### **3.3.4. Completación de los datos hidrometeorológicos**

#### **3.3.4.1. Completación de la precipitación**

La completación de la precipitación se realizó a nivel mensual utilizando los siguientes métodos: Regresión lineal, Regresión múltiple, Promedios vecinales, Razones promedios, Correlación con estaciones vecinas y vector regional. De todos los métodos utilizados se eligió como mejor método de completación en cada mes y para cada estación el método que posea el mayor coeficiente de correlación y el menor error medio cuadrático.

### **3.3.4.2. Completación de la temperatura**

Para la completación de datos faltantes de temperatura se generó ecuaciones que relacionen la temperatura en función de su altitud, estas ecuaciones se generaron para cada mes de cada año.

### **3.3.4.3. Completación de los caudales**

En el caso de la información de caudales no se realizó ninguna completación y extensión de la información porque se contó con un registro completo, solo se corrigió un periodo de información el cual fue el periodo 2002-2010.

### **3.3.4.4. Análisis de tendencia en las series de precipitación regional**

Se realizaron pruebas de tendencia de la precipitación por Región pluviométrica aplicando el test de tendencia de Mann-Kendall, Spearman's Rho y Regresión lineal. Las series pluviométricas fueron evaluadas a nivel anual. Se utilizó el programa TREND.

### **3.3.5. Caracterización climática**

La caracterización climática se realizó a nivel de cuenca, Subcuencas y zonas homogéneas. Para las zonas homogéneas se determinaron las estadísticas descriptivas de la precipitación a nivel regional.

Por otro lado, se delimitó las zonas homogéneas superponiendo el mapa climático del Perú y el DEM

### **3.3.6. Análisis de la precipitación regional ante un evento ENOS**

Se analizó con respecto a un año "Normal" el comportamiento de la precipitación ante un evento "El Niño" y "La Niña" de categoría fuerte y moderada. Determinando las anomalías para cada evento presentado.

### **3.3.7. Generación de caudales en las subcuencas**

Se realizó la generación de caudales en las subcuencas Alto Chicama, Chuquillanqui, Medio alto Chicama, Quirripango, Ochape, Medio Chicama, Santanero y Medio bajo Chicama mediante la fórmula N°18.

### 3.3.8. Análisis de los caudales ante un evento ENOS

Para la estación de aforo El Salinar y cada Sub-cuenca presentada en el área de estudio se realizó el análisis de los caudales ante un evento “El Niño” y “La Niña” de categoría fuerte y moderada, las anomalías de los caudales se determinaron en referencia a un año normal.

### 3.3.9. Análisis de los caudales mediante la curva de frecuencia

Los caudales de estación de aforo “El Salinar” y de cada Sub-cuenca presentada en el área de estudio se analizaron mediante la curva de persistencia en donde se analizó a 10%, 25%,50%, 75% y 90% de tiempo el caudal que será igualado o excedido.

### 3.3.10. Patrones geospaciales de la precipitación

Para la elaboración del mapa de precipitación multianual se realizaron los siguientes pasos:

#### 3.3.10.1. Determinación del modelo matemático geoespacial de la precipitación

A fin de encontrar asociaciones entre el comportamiento pluviométrico de la zona de estudio y la ubicación geográfica, se realizó un análisis estadístico de regresión lineal que permite formular un modelo matemático que explica con un alto nivel de correlación la dependencia entre la precipitación con la ubicación geográfica y la altitud, siendo su ecuación matemática la siguiente.

$$PP = Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Iz + J \dots (19)$$

Siendo:

PP = Precipitación anual en medida en mm

X =Longitud (Coordenada UTM)

Y =Latitud (Coordenada UTM)

Z =Altura (msnm)

A, B, C, D, E, F, G, H, I, J = Coeficientes de las variables

Luego de la generación del modelo lineal de correlación múltiple se calculó los residuos para su respectiva interpolación, explicada posteriormente.

### 3.3.10.2. Transformación del MED a punto

Para este paso se utilizó el programa ArGIS10 en donde a partir de la herramienta ArcToolbox se realiza la conversión de MED (raster) a punto (shapefile), la ruta en el programa es la siguiente:

- ArcToolbox/Conversion tool/from raster/raster to point.

El objetivo de la transformación, es generar una grilla de puntos en donde a partir de estos se pueda obtener las coordenadas UTM y la Altitud de los mismos.

### 3.3.10.3. Interpolación y creación de rasters

En la realización de este paso se utilizó el programa ArGIS10, en donde se interpolaron y crearon 4 rasters con la siguiente información:

- Raster X: Contiene como información la variable longitud en coordenadas UTM presente en la tabla de atributos correspondiente al Shapefile punto.
- Raster Y: Contiene como información la variable latitud en coordenadas UTM presente en la tabla de atributos correspondiente al Shapefile punto.
- Raster Z: Contiene como información la variable altitud en msnm presente en la tabla de atributos correspondiente al Shapefile punto.
- Raster E: Contiene como información la interpolación de los residuos de precipitación generados por el modelo lineal de correlación múltiple

Para el proceso de interpolación se utilizó y activo la barra de herramientas Geostatistical Analyst en donde se utilizó como técnica de interpolación el método inversa de la distancia ponderada, siendo la ruta en el programa la siguiente: **Geostatistical Analyst/ Geostatistical Wizard/ inverse distance weighting**. El siguiente paso después de la

interpolación es exportar la información como archivo raster el cual será utilizado como insumo para la generación del mapa de precipitación.

#### **3.3.10.4. Elaboración del mapa de precipitación multianual**

En el presente paso se activó la barra de herramientas Spatial Analyst del programa ArcGIS 10, el cual permitió utilizar la calculadora raster para la generación del mapa de precipitación multianual. En el proceso de elaboración se creó un primer mapa (raster) de precipitación multianual ingresando a la calculadora raster la ecuación generada por modelo lineal de correlación múltiple teniendo como variables predictores los rastes Y, X y Z, este primer mapa contiene la precipitación simulada por el modelo libre de los residuos, es por tal motivo que a la creación del primer mapa (raster) se le suma el "Raster E" para agregar los residuos de precipitación, obteniendo de esta forma el mapa final de precipitación multianual.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Caracterización morfométrica de la cuenca y subcuencas

Las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica pueden ser definidas como los diversos factores que determinan la naturaleza de la descarga en un curso de agua. El conocimiento de esas características, determina la naturaleza de descarga de los ríos, pueden ser agrupados en factores que dependen de las características físicas y de uso de la cuenca hidrográfica.

A continuación se describen los parámetros morfométricos de la cuenca y Sub-subcuencas:

#### 4.1.1. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chicama

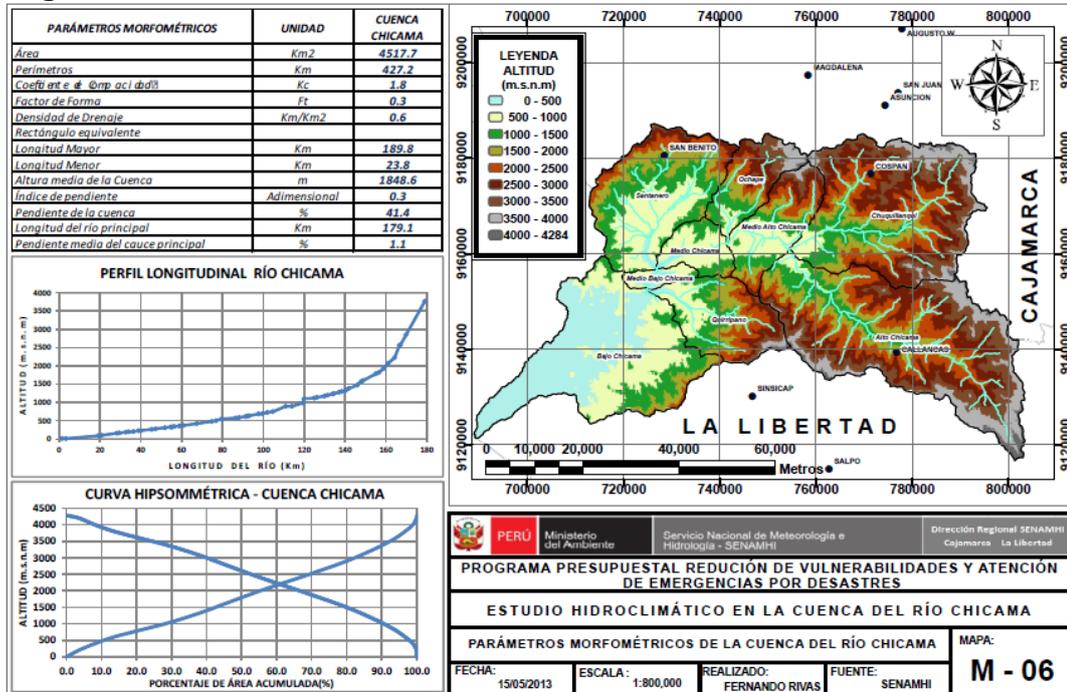
Esta cuenca tiene un área de 4 517.7 Km<sup>2</sup>, un perímetro de 427.2km, una altitud media de 1 848.6 msnm, una pendiente media en el orden de 41.4 %, una densidad de drenaje de 0.6Km/Km<sup>2</sup> entendiendo por aquello que la cuenca posee suelos duros; poco erosionables o muy permeables. El Factor de Forma determinado es 0,3 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene regular respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,8 y que corresponden a cuencas de forma alargada. La longitud del río principal es de 179.1 Km teniendo una pendiente media de 1.1%.

La zona de más baja altitud está comprendida entre 0 y 500 msnm y representa el 10.7 % de la superficie total de la cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 4000 y 4284 msnm y representa apenas el 7.5% de la superficie de la cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (58.8%) se encuentra comprendida entre los 500 y 2500 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1000 msnm. En el mapa M-06 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°6.0 se observa los niveles altitudinales de la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del

río principal, los parámetros morfométricos mencionados y otros de manera adicional.

**Figura N°6.0 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

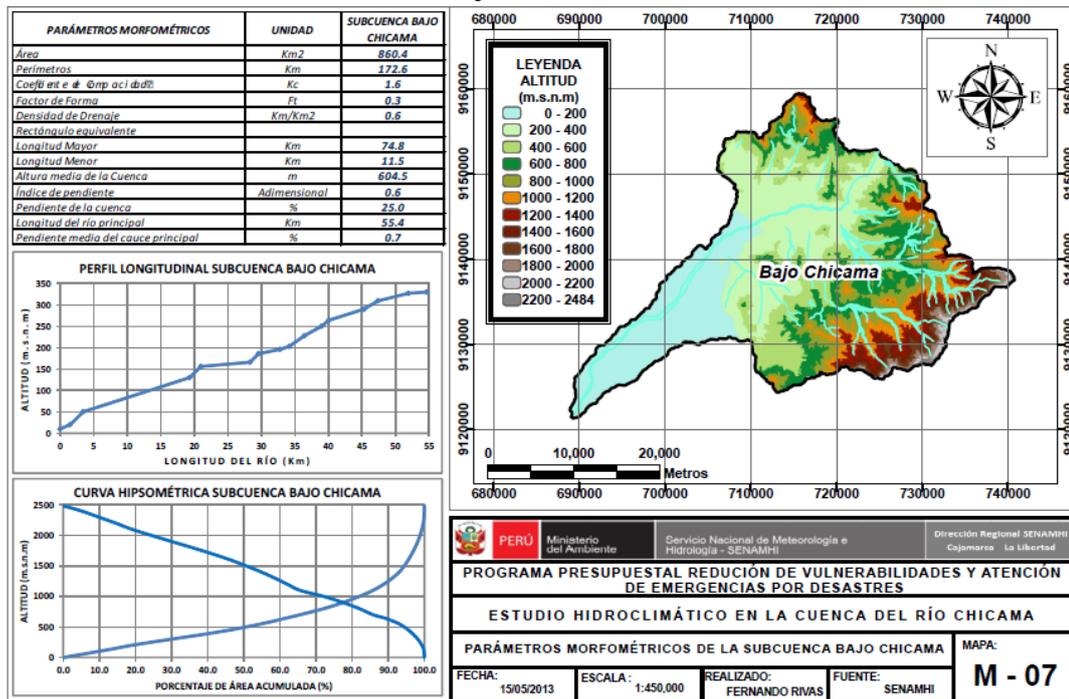
#### 4.1.2. Parámetros morfométricos de las Sub-cuencas del río Chicama

##### 4.1.2.1. Sub-cuenca bajo Chicama

La Sub-cuenca bajo Chicama tiene una superficie total de 860.4 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 604.5 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 0 y 200 msnm y representa el 18.9 % de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 2200 y 2484 msnm y representa apenas el 0.3% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (62.8%) se encuentra comprendida entre los 200 y 1000 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 623.9 msnm. En el mapa M-07 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°7.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°7.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Bajo Chicama**



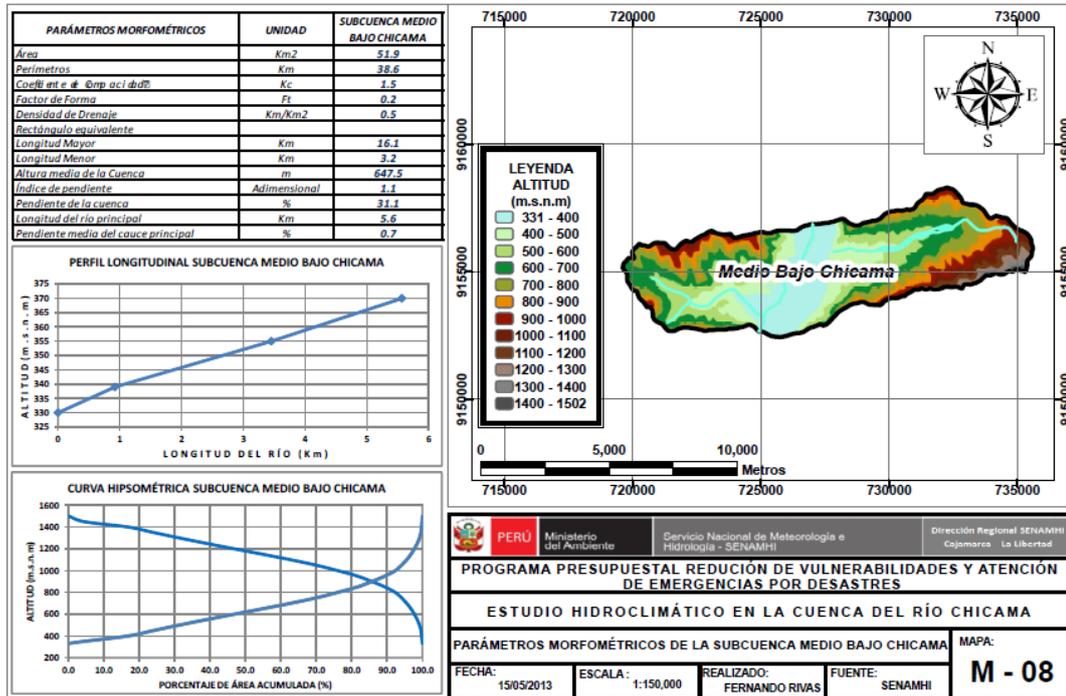
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.2. Sub-cuenca medio bajo Chicama

La Sub-cuenca medio bajo Chicama tiene una superficie total de 51.9 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 647.5 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 331 y 400 msnm y representa el 16.9 % de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 1300 y 1502 msnm y representa apenas el 0.8% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (75.8%) se encuentra comprendida entre los 331 y 800 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 839.7msnm. En el mapa M-08 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°8.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°8.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Medio Bajo Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

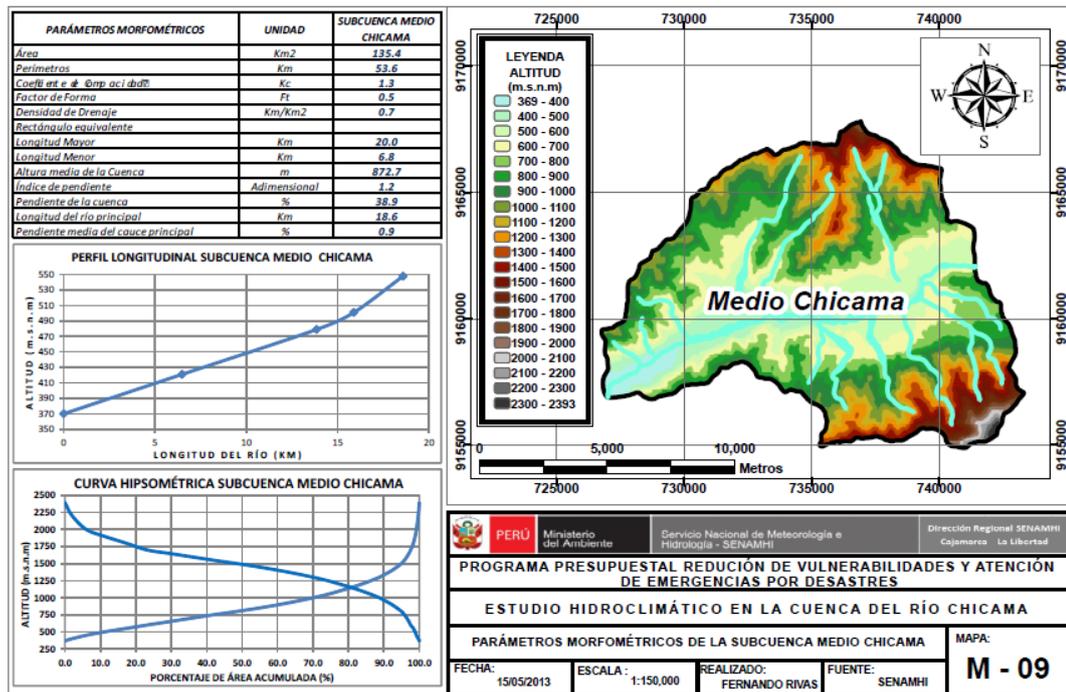
#### 4.1.2.3. Sub-cuenca medio Chicama

La Sub-cuenca medio Chicama tiene una superficie total de 135.4 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 872.7 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 369 y 700 msnm y representa el 35.5% de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 2000 y 2393 msnm y representa apenas el 1.1% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (69.9%) se encuentra comprendida entre los 369 y 1000 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 965.8 msnm. En el mapa M-09 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°9.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°9.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca**

## Medio Chicama

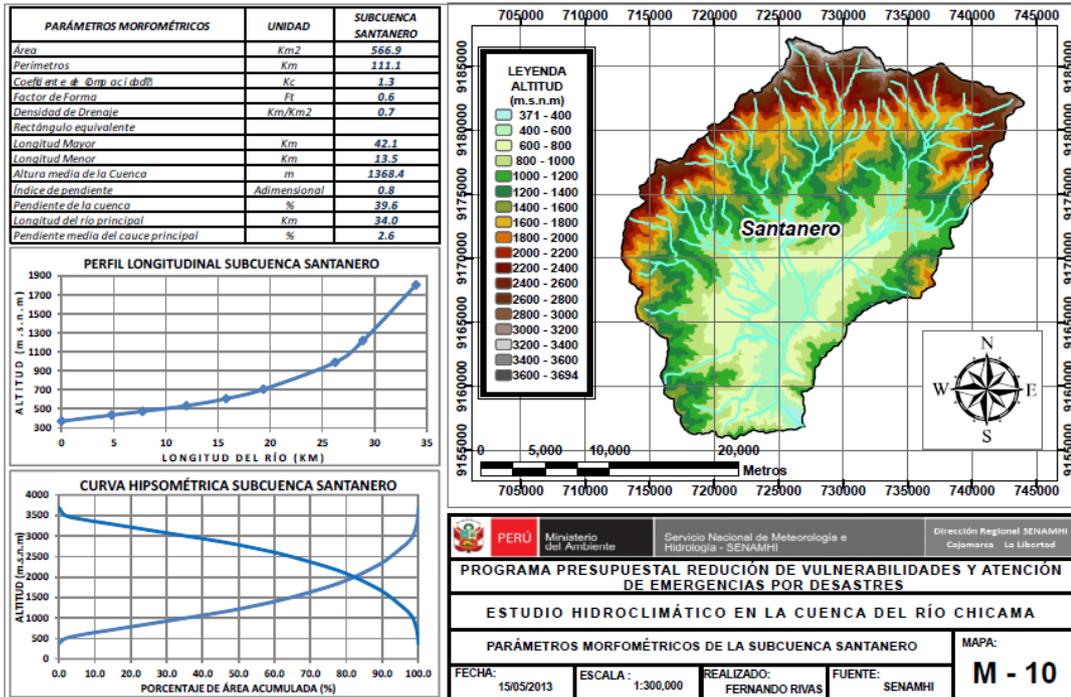


Fuente: Elaboración Propia

### 4.1.2.4. Sub-cuenca Santanero

La Sub-cuenca Santanero tiene una superficie total de 566.9 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 1368.4 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 371 y 1000 msnm y representa el 35.3% de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 3000 y 3694 msnm y representa apenas el 1.5% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (76.1%) se encuentra comprendida entre los 371 y 1800 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1650 msnm. En el mapa M-10 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°10.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

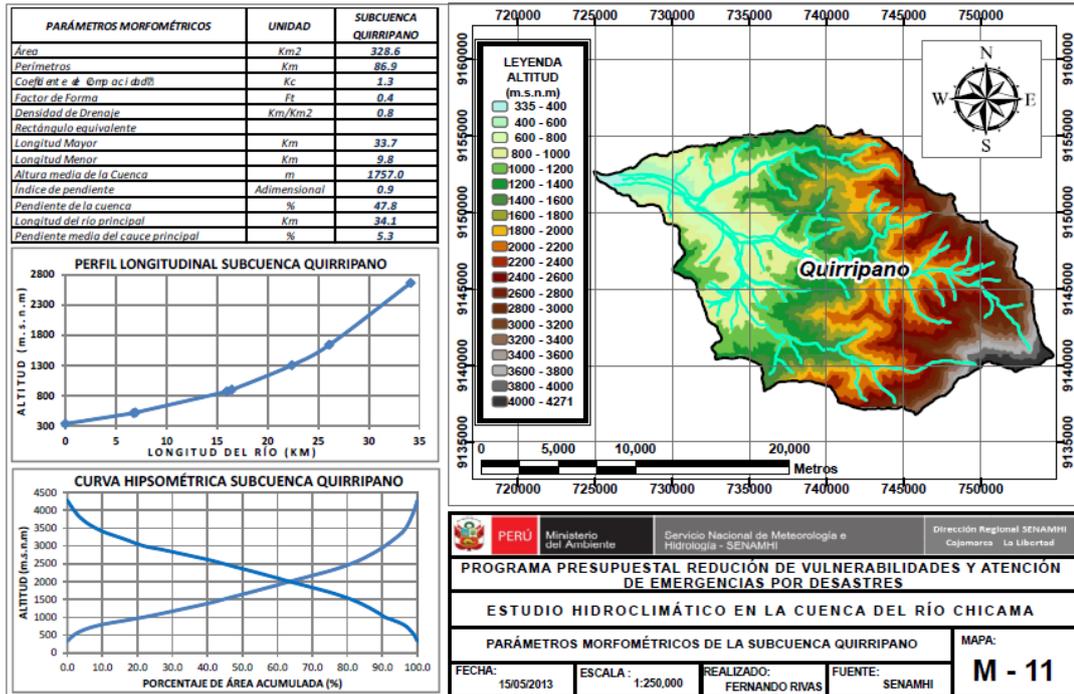
**Figura N°10.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Santanero**

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.5. Sub-cuenca Quirripiano

La Sub-cuenca Quirripiano tiene una superficie total de 328.6 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 1757 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 335 y 1000 msnm y representa el 21.7% de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 3400 y 4271 msnm y representa apenas el 4.1% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (78%) se encuentra comprendida entre los 335 y 2400 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1048.7 msnm. En el mapa M-11 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°11.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°11.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Quirripano**

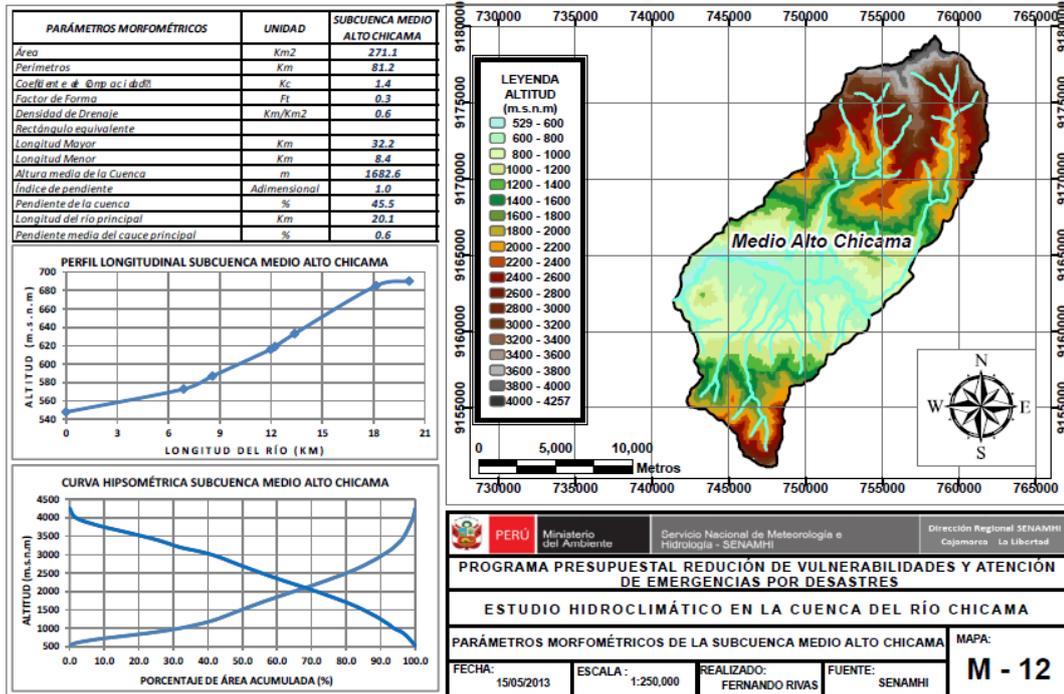
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.6. Sub-cuenca Medio Alto Chicama

La Sub-cuenca Medio Alto Chicama tiene una superficie total de 271.1 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 1682.6 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 529 y 1000 msnm y representa el 31.9 % de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 3600 y 4257 msnm y representa apenas el 2.3% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (82.8%) se encuentra comprendida entre los 529 y 2600 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1245.6 msnm. En el mapa M-12 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°12.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°12.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Medio Alto Chicama**

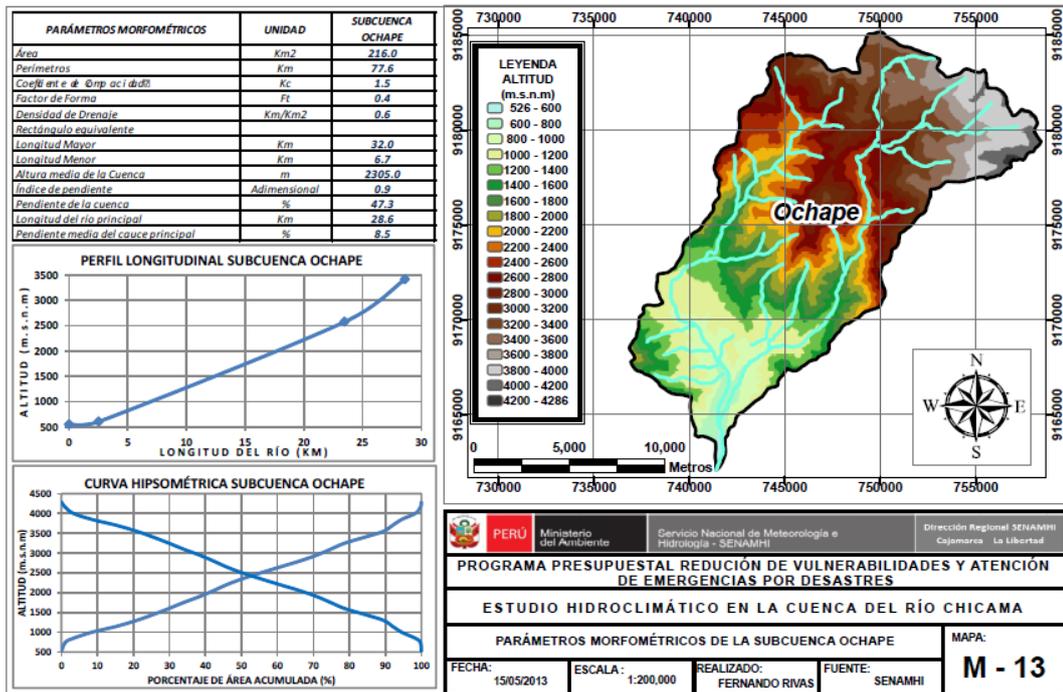


Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.7. Sub-cuenca Ochape

La Sub-cuenca Ochape tiene una superficie total de 216 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 2305 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 526 y 1200 msnm y representa el 17.3 % de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 3800 y 4286 msnm y representa apenas el 6.4% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (72.1%) se encuentra comprendida entre los 526 y 3000 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1270.1 msnm. En el mapa M-13 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°13.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°13.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Ochape**

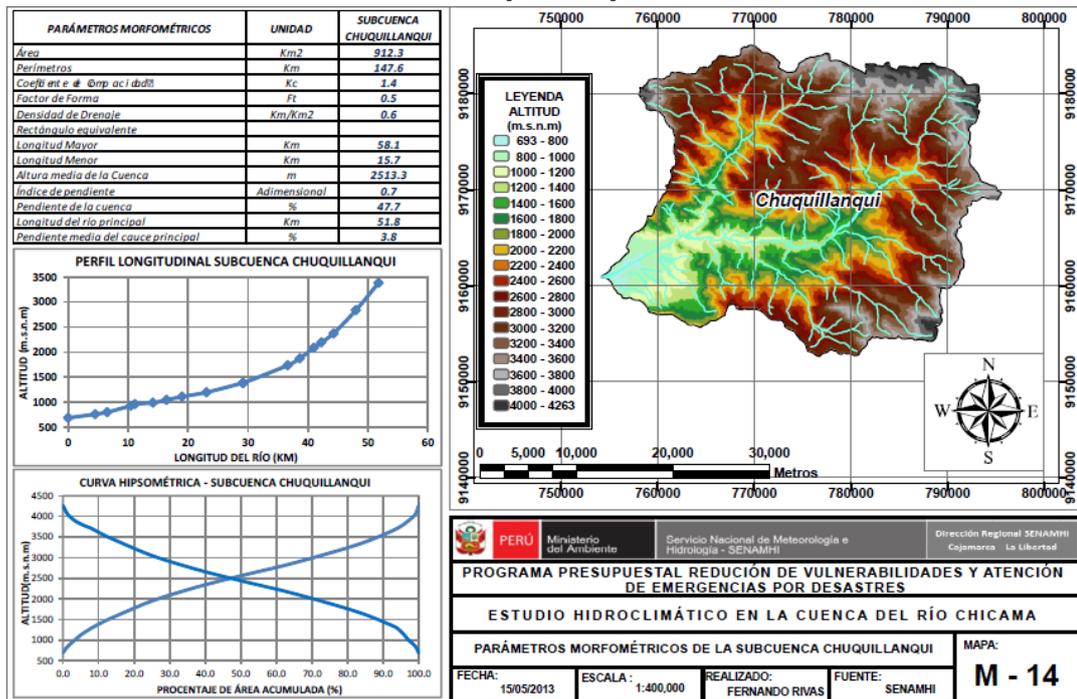
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.8. Sub-cuenca Chuquillanqui

La Sub-cuenca Chuquillanqui tiene una superficie total de 912.3 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 2513.3 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 693 y 1400 msnm y representa el 10.3 % de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 3800 y 4263 msnm y representa apenas el 4.0% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (70.4%) se encuentra comprendida entre los 693 y 3000 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1445.3 msnm. En el mapa M-14 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°14.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°14.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Chuquillanqui**



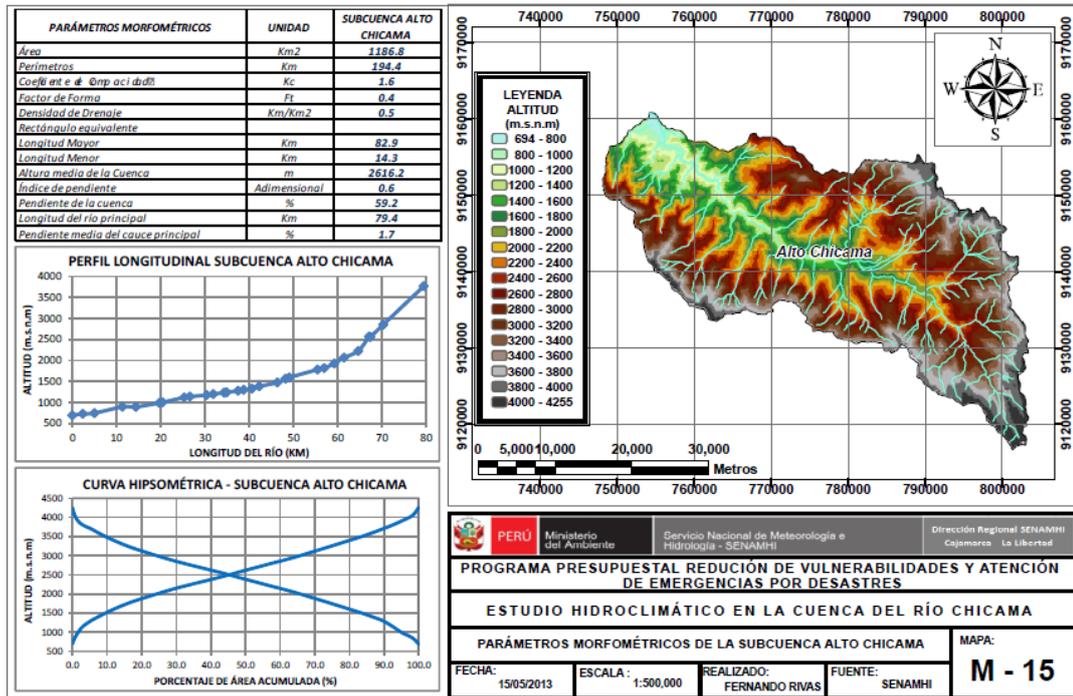
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2.9. Sub-cuenca Alto Chicama

La Sub-cuenca Alto Chicama tiene una superficie total de 1186.6 km<sup>2</sup>, siendo su altitud media de 2616.2 msnm. La zona de más baja altitud está comprendida entre 694 y 1400 msnm y representa el 7.4 % de la superficie total de la Sub-cuenca. La zona de mayor altitud se encuentra comprendida entre los 3800 y 4255 msnm y representa apenas el 7.1% de la superficie de la Sub-cuenca.

El mayor porcentaje de superficie de la cuenca (65.7%) se encuentra comprendida entre los 694 y 3000 msnm. El 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1281.1 msnm. En el mapa M-15 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°15.0 se describe la distribución altitudinal en la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros físicos.

**Figura N°15.0 Parámetros morfométricos de la Sub-cuenca Alto Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

Se determinaron los tiempos de concentración en cada una de las subcuencas del río Chicama mediante los métodos de Kirpich y California cuyos resultados se presentan en el cuadro N°4.0. De acuerdo a estos resultados se puede observar que cada subcuenca tiene tiempos de respuestas hidrológicas diferentes ante eventos lluviosos. Los tiempos de concentración fluctúan entre 1.7 y 10 horas que corresponden a las cuencas con menor tiempo de concentración (Medio Bajo Chicama) y mayor tiempo (Bajo Chicama). Según los resultados del Cuadro N°04

**Cuadro N° 4.0, Tiempos de concentración por métodos de Kirpich y California en subcuencas del río Chicama**

| SUBCUENCA          | Área (Km <sup>2</sup> ) | Pendiente (m/m) | Longitud del río(Km) | Desnivel (m) | Tiempo de concentración (Horas) |            |          |
|--------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------------------------------|------------|----------|
|                    |                         |                 |                      |              | kirpich                         | California | Promedio |
| Alto Chicama       | 1186.81                 | 0.0174          | 79.4                 | 1865         | 9.1                             | 8.2        | 8.7      |
| Chuquillanqui      | 912.31                  | 0.0382          | 51.8                 | 2693         | 4.8                             | 4.3        | 4.6      |
| Medio alto Chicama | 271.08                  | 0.0057          | 20.1                 | 117          | 4.9                             | 4.9        | 4.9      |
| Medio bajo Chicama | 51.91                   | 0.0071          | 5.6                  | 40           | 1.7                             | 1.7        | 1.7      |
| Medio Chicama      | 135.44                  | 0.0090          | 18.6                 | 178          | 3.8                             | 3.8        | 3.8      |
| Ochape             | 215.96                  | 0.0855          | 28.6                 | 2869         | 2.3                             | 2.1        | 2.2      |
| Quirripiano        | 328.64                  | 0.0532          | 34.1                 | 2333         | 3.1                             | 2.8        | 3.0      |
| Santanero          | 566.91                  | 0.0263          | 34.0                 | 1435         | 4.0                             | 3.4        | 3.7      |
| Bajo Chicama       | 860.40                  | 0.0071          | 55.4                 | 320          | 9.7                             | 10.7       | 10.2     |

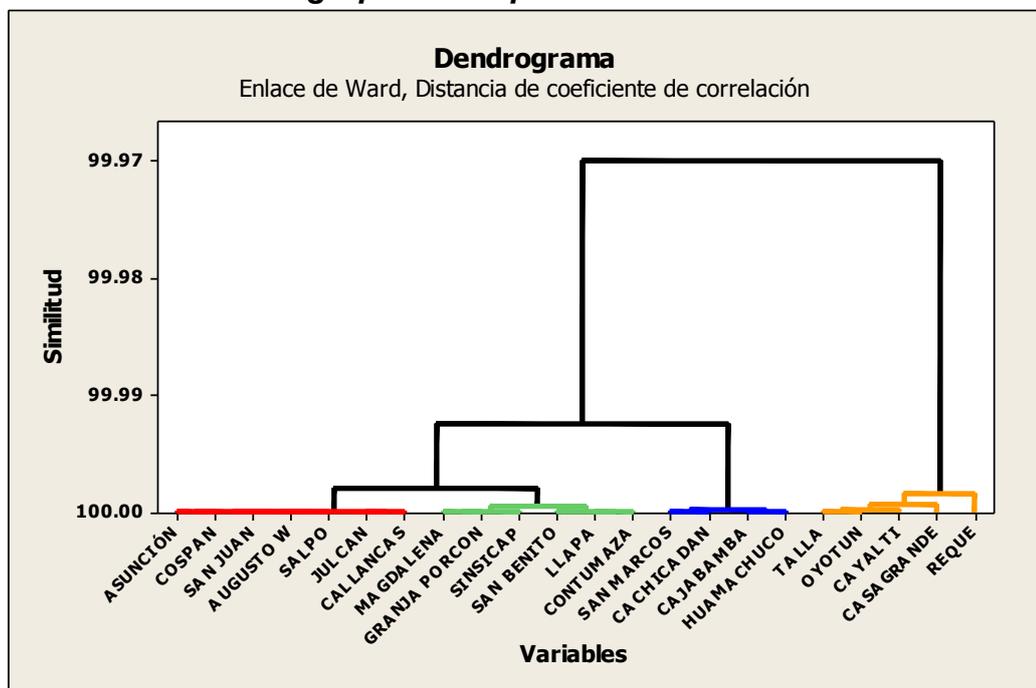
Fuente: Elaboración Propia

## 4.2. Regionalización Pluviométrica

Luego de un proceso reiterativo de agrupamientos mediante los diferentes métodos descritos en el capítulo de la metodología, se determinaron 3 Regiones o Zonas Pluviométricas en toda la región de estudio, coherentes con las características climáticas y fisiográficas de la cuenca.

Las homogeneidades de los grupos o regiones pluviométricas fueron evaluadas con el método de clúster tal como se muestra en el Gráfico N°1.0

**Gráfico N°1.0 Agrupamiento por el método de clúster**



Fuente: Programa Minitab 16

En donde se puede observar claramente 4 grupos homogéneos los mismos que fueron finalmente ajustados por el Vector Regional de Índices pluviométricos obteniendo definitivamente 3 grupos homogéneas tal como se describe a continuación:

- **El grupo homogéneo I**, está conformado por las estaciones Asunción Cospán, Magdalena, San Juan, Augusto W y San Benito las cuales cumplen con la hipótesis de Pseudo-proporcionalidad, tal como podemos observar en el cuadro N°5.0, en la columna

correspondiente “**Correl./Vector**”. Asimismo este grupo posee una desviación estándar de desvió (DED) igual 0.29 los cual es buena.

**Cuadro N° 5.0, Parámetros del vector para la Grupo homogénea I**

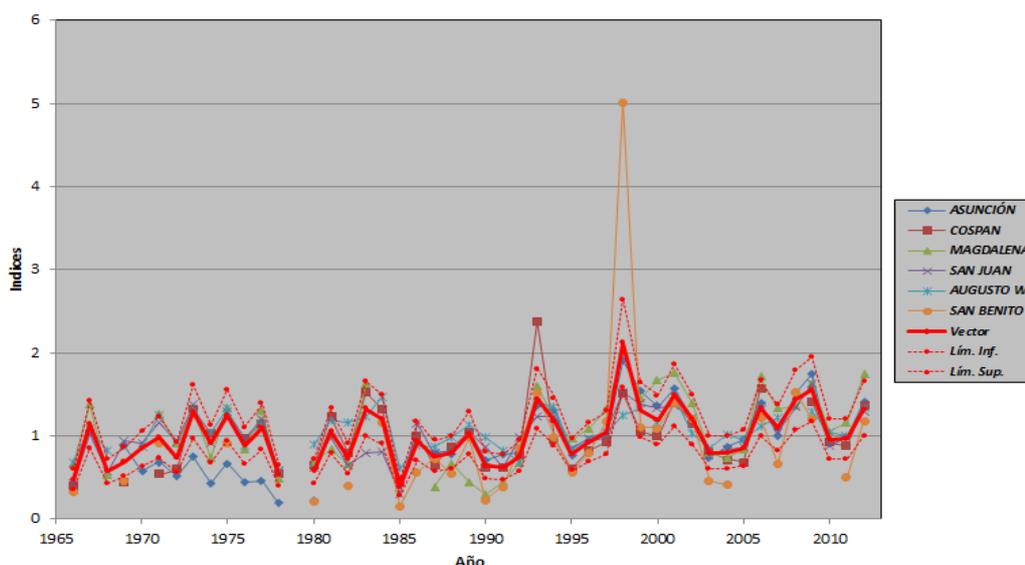
| <b>Id Estación</b> | <b>Nº Años</b> | <b>Homogeneidad B.M.</b> | <b>Correl. /Vector</b> | <b>D.E. Desvíos</b> |
|--------------------|----------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| <b>Asunción</b>    | 38             | 0.000                    | 0.83                   | 0.244               |
| <b>Cospán</b>      | 40             | 0.069                    | 0.83                   | 0.222               |
| <b>Magdalena</b>   | 41             | 0.003                    | 0.88                   | 0.224               |
| <b>San Juan</b>    | 46             | 0.436                    | 0.87                   | 0.164               |
| <b>Augusto W</b>   | 42             | 0.030                    | 0.79                   | 0.213               |
| <b>San Benito</b>  | 33             | 0.177                    | 0.84                   | 0.561               |
| <b>DED =</b>       |                |                          |                        | <b>0.29</b>         |

Fuente: Elaboración Propia

Una vez identificadas las estaciones pertenecientes a esta zona homogénea, el programa genera el vector para dicha zona en donde los índices anuales de cada estación deben estar próximos al vector y dentro del intervalo de confianza asignado. La representación gráfica de los índices anuales del vector y las estaciones podemos observarlas en el gráfico N° 2.0. Asimismo, suma de los índices anuales del vector y las estaciones podemos apreciarla en el gráfico N° 3.0

**Gráfico N°2.0 Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea I**

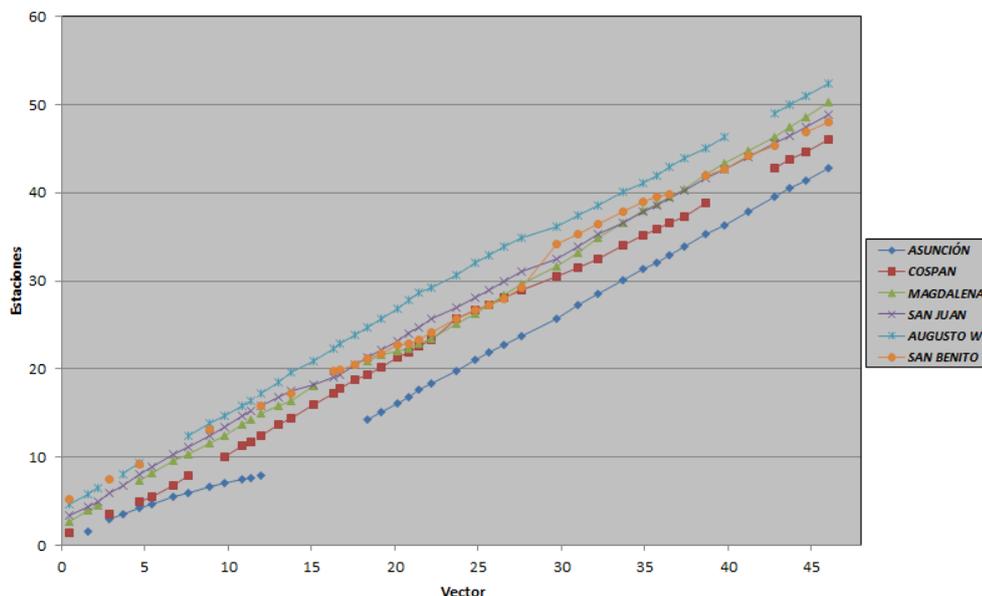
Índices anuales del Vector y de las Estaciones (Brunet Moret)



Fuente: Programa hydracces

### Gráfico N°3.0 Suma de Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea I

Suma de los índices anuales del Vector y de las Estaciones



Fuente: Programa hydracces

- **El grupo homogéneo II**, está conformado por las estaciones San Marcos, Cajabamba, Cachicadan, Julcan, Huamachuco, Callancas, Llapa, Salpo y Sinsicap las cuales cumplen con la hipótesis de Pseudo-proporcionalidad, tal como podemos observar en el cuadro N°6.0, en la columna correspondiente “**Correl./Vector**”. Asimismo este grupo posee una desviación estándar de desvió (DED) igual 0.19 los cual es muy buena.

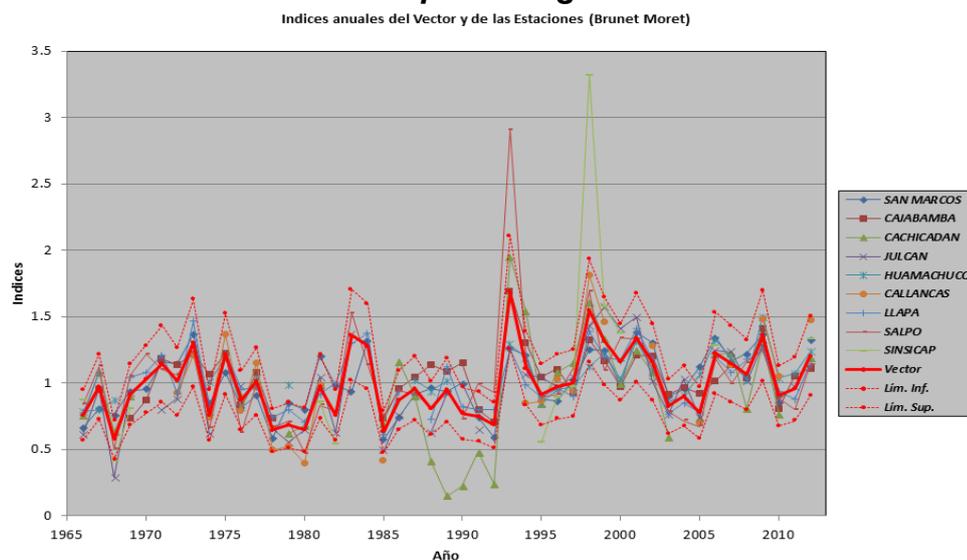
#### Cuadro N° 6.0, Parámetros del vector para la Grupo homogénea II

| <b>Id Estación</b> | <b>No Años</b> | <b>Homogeneidad B.M.</b> | <b>Correl. /Vector</b> | <b>D.E. Desvíos</b> |
|--------------------|----------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| <b>San Marcos</b>  | 46             | 0.357                    | 0.79                   | 0.155               |
| <b>Cajabamba</b>   | 39             | 0.008                    | 0.80                   | 0.143               |
| <b>Cachicadan</b>  | 37             | 0.228                    | 0.82                   | 0.231               |
| <b>Julcan</b>      | 38             | 0.036                    | 0.92                   | 0.129               |
| <b>Huamachuco</b>  | 31             | 0.041                    | 0.75                   | 0.164               |
| <b>Callancas</b>   | 23             | 0.020                    | 0.95                   | 0.151               |
| <b>Llapa</b>       | 45             | 0.031                    | 0.89                   | 0.11                |
| <b>Salpo</b>       | 46             | 0.109                    | 0.84                   | 0.216               |
| <b>Sinsicap</b>    | 14             | 0.148                    | 0.88                   | 0.503               |
| <b>DED =</b>       |                |                          |                        | <b>0.19</b>         |

Fuente: Elaboración Propia

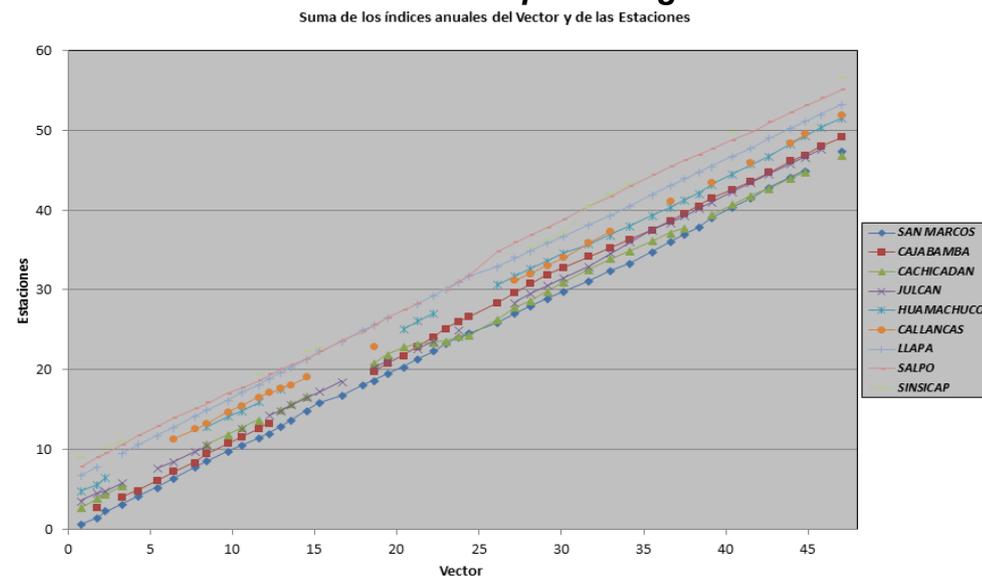
Una vez identificadas las estaciones pertenecientes a esta zona homogénea, el programa genera el vector para dicha zona en donde los índices anuales de cada estación deben estar próximos al vector y dentro del intervalo de confianza asignado. La representación gráfica de los índices anuales del vector y las estaciones podemos observarlas en el gráfico N°4.0. Asimismo, suma de los índices anuales del vector y las estaciones podemos apreciarla en el gráfico N°5.0

### Gráfico N°4.0 Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea II



Fuente: Programa hydracces

### Gráfico N°5.0 Suma de Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea II



Fuente: Programa hydracces

- **El grupo homogéneo III**, está conformado por las estaciones Talla, Cayalti, Reque, Oyotun y Casagrande las cuales cumplen con la hipótesis de Pseudo-proporcionalidad, tal como podemos observar en el cuadro N°7.0, en la columna correspondiente “**Correl./Vector**”. Asimismo este grupo posee una desviación estándar de desvió (DED) igual 0.35 los cual es aceptable.

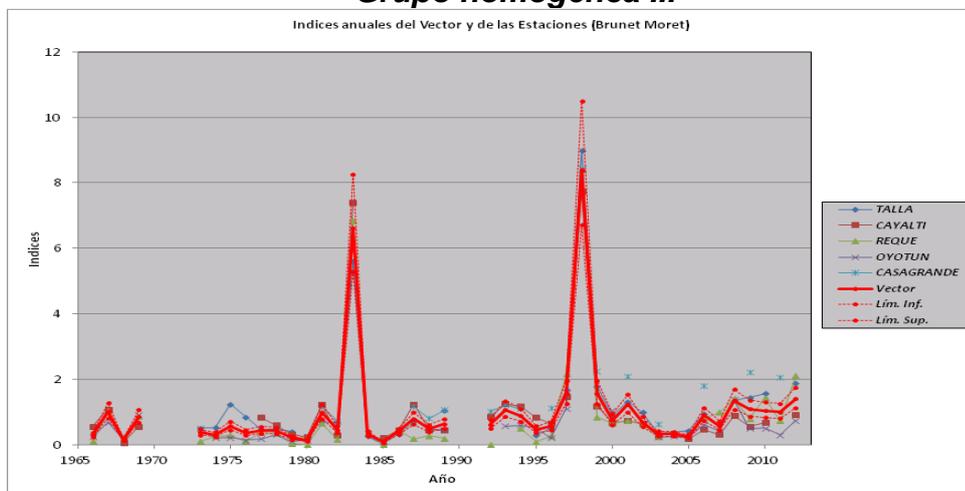
**Cuadro N° 7.0, Parámetros del vector para la Grupo homogénea III**

| <b>Id Estación</b> | <b>No Años</b> | <b>Homogeneidad B.M.</b> | <b>Correl. /Vector</b> | <b>D.E. Desvíos</b> |
|--------------------|----------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Talla              | 31             | 0.034                    | 0.984                  | 0.328               |
| Cayalti            | 36             | 0.001                    | 0.981                  | 0.317               |
| Reque              | 39             | 0.088                    | 0.984                  | 0.322               |
| Oyotun             | 33             | 0.156                    | 0.986                  | 0.296               |
| Casagrande         | 16             | 0.047                    | 0.985                  | 0.588               |
| DED =              |                |                          |                        | <b>0.35</b>         |

Fuente: Elaboración Propia

Una vez identificadas las estaciones pertenecientes a esta zona homogénea, el programa genera el vector para dicha zona en donde los índices anuales de cada estación deben estar próximos al vector y dentro del intervalo de confianza asignado. La representación gráfica de los índices anuales del vector y las estaciones podemos obsérvalas en el gráfico N°6.0. Asimismo, suma de los índices anuales del vector y las estaciones podemos apreciarla en el gráfico N°7.0

**Gráfico N°6.0 Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea III**



Fuente: Programa hydracces

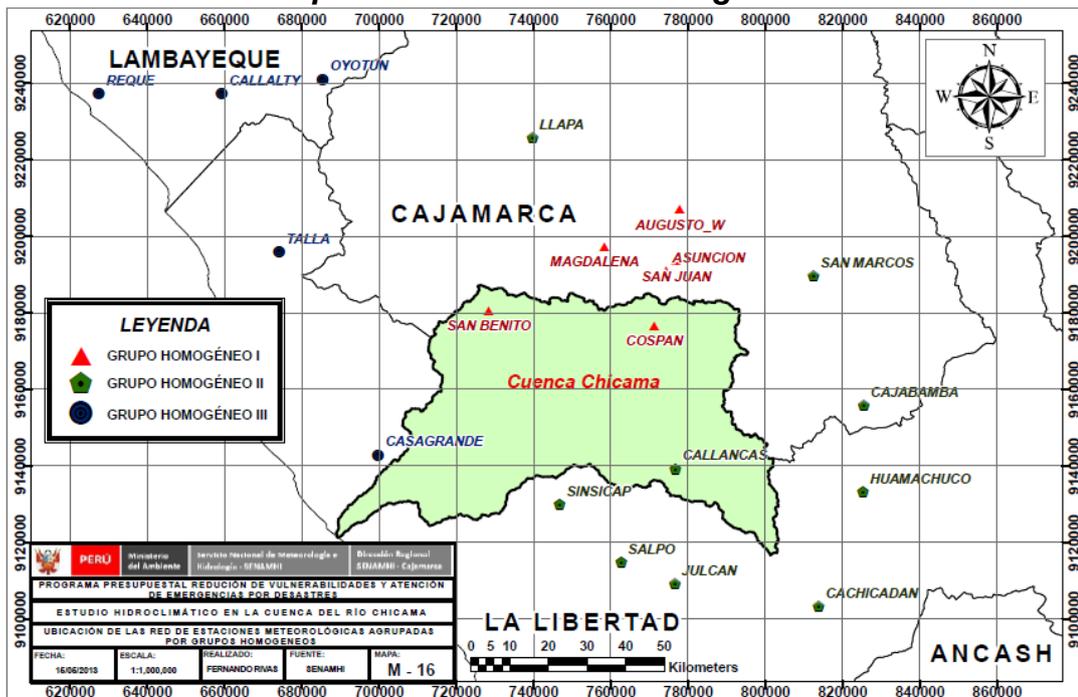
**Gráfico N°7.0 Suma de Índices anuales del vector y de las estaciones – Grupo homogénea III**



Fuente: Programa hydracces

La representación espacial de los grupos homogéneos se muestra en el mapa M-16 que se muestra en el anexo A-III y en la figura N°16.0

**Figura N°16.0 Representación espacial de las grupos pluviométricamente homogéneos**

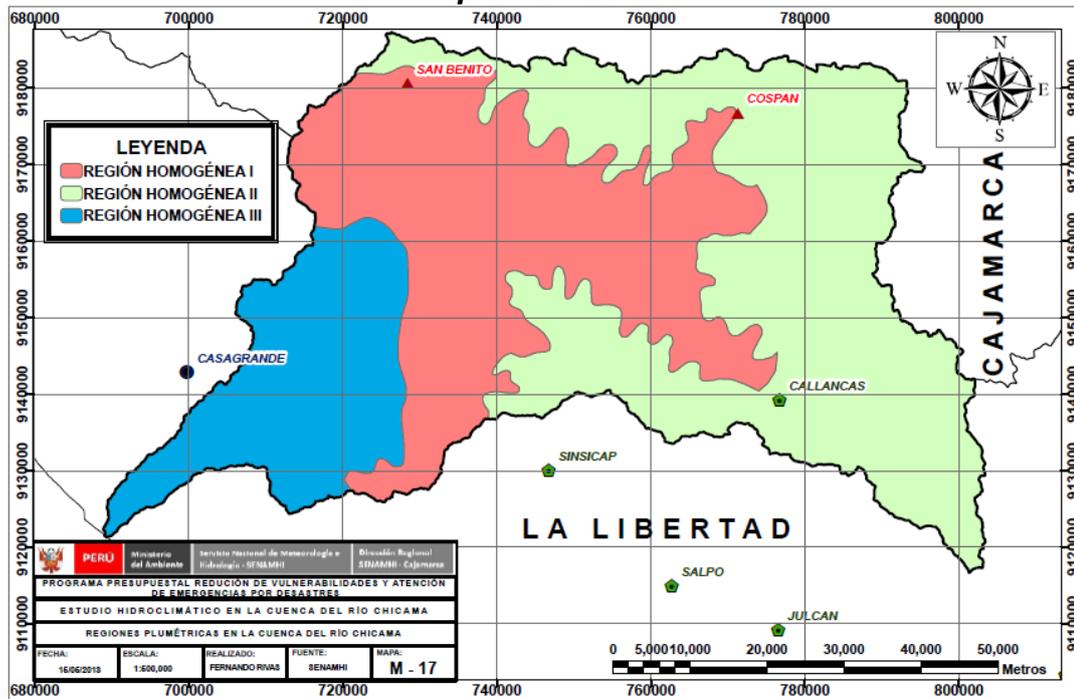


Fuente: Elaboración Propia

A fin de tener una representación geográfica de los grupos de estaciones homogéneas se determinó el área de influencia de los grupos tomando

como base el mapa climático, el mapa de zonas de vida y el DEM, para finalmente obtener las regiones pluviométricas que se muestran en el mapa M-17 del anexo A-III o figura N°17.0

**Figura N°17.0 Representación espacial de las regiones pluviométricas**



Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. Características de las regiones pluviométricas encontradas

#### 4.3.1. Región homogénea I:

Los niveles altitudinales de esta región pluviométrica está comprendido entre 383 y 3018 msnm. Políticamente cubre parcialmente los distritos de cascas, Cospán, Lucma, Marmot, Sinsicap y San Benito. La precipitación promedio anual alcanza los 699.7 mm, concentrándose el 83% de lluvia acumulada entre los meses de Diciembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. La temperatura extremas varían entre 11.4 ° C en Julio y 24.7°C en Agosto. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Octubre con un

valor de 73.4mm asimismo la mínima se muestra en Febrero con un valor de 63.9mm

En el Cuadro N°8.0 se presenta el comportamiento mensual de las variables climáticas de temperatura, evapotranspiración y precipitación de la región homogénea I.

**Cuadro N° 8.0, Climatología de temperatura, evapotranspiración y precipitación en la región homogénea I**

| REGIÓN HOMOGÉNEA I      |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| TEMPERATURA (°C)        |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| Tmáx                    | 22.4  | 22    | 22.2  | 22.6 | 23.5 | 23.7 | 24   | 24.7 | 24.5 | 23.8 | 23.4 | 22.8 | 24.7  |
| Tmed                    | 17.8  | 17.7  | 17.9  | 17.9 | 17.9 | 17.6 | 17.7 | 18.2 | 18.4 | 18.2 | 18   | 17.9 | 17.9  |
| T min                   | 13.1  | 13.4  | 13.6  | 13.2 | 12.3 | 11.6 | 11.4 | 11.7 | 12.3 | 12.6 | 12.7 | 13   | 11.4  |
| EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm) |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| ETP(mes)                | 70.7  | 63.9  | 70.9  | 67.4 | 68.6 | 63.9 | 66.5 | 70.9 | 70.7 | 73.4 | 71.3 | 73.1 | 831.4 |
| PRECIPITACIÓN (mm)      |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| ETP mes)                | 103.9 | 143.4 | 166.9 | 82.0 | 21.5 | 7.4  | 3.1  | 4.1  | 17.1 | 44.0 | 42.6 | 63.7 | 699.7 |

Fuente: Elaboración Propia

Las características descriptivas que sintetizan el comportamiento pluviométrico de esta región se presentan en el Cuadro N°9.0.

**Cuadro N° 9.0, Características descriptivas de la precipitación en la región homogénea I**

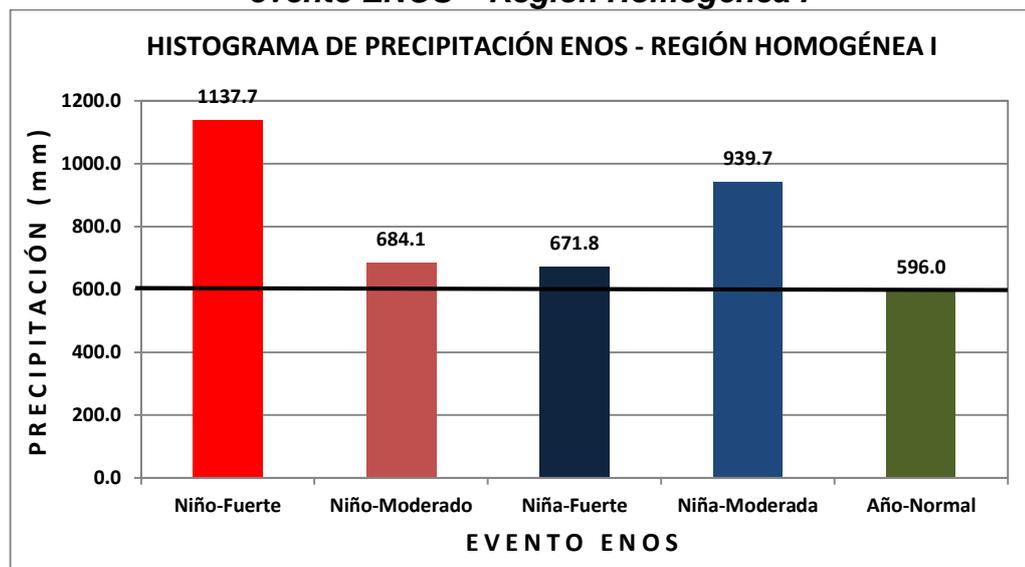
| PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE PRECIPITACIÓN EN REGIÓN HOMOGÉNEA I |      |      |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |        |
|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------|
| PARÁMETROS   | SEP  | OCT  | NOV   | DIC   | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | ANUAL  |
| MEDIA  | 17.1 | 44.0 | 42.6  | 63.7  | 103.9 | 143.4 | 166.9 | 82.0  | 21.5 | 7.4  | 3.1  | 4.1  | 699.7  |
| DESVEST  | 11.7 | 25.7 | 23.0  | 41.0  | 68.5  | 81.5  | 98.3  | 49.0  | 14.8 | 7.0  | 3.7  | 4.4  | 261.3  |
| CV   | 0.7  | 0.6  | 0.5   | 0.6   | 0.7   | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0.7  | 1.0  | 1.2  | 1.1  | 0.4    |
| C.ASIM   | 1.1  | 0.3  | 0.7   | 1.4   | 1.1   | 1.0   | 0.9   | 1.6   | 1.0  | 0.9  | 1.9  | 2.2  | 1.2    |
| CURTOSIS   | 1.5  | -0.9 | 0.2   | 3.9   | 1.7   | 0.8   | 0.3   | 3.6   | 0.7  | -0.2 | 3.1  | 6.9  | 3.7    |
| MAX  | 53.9 | 97.4 | 108.3 | 225.2 | 336.5 | 372.7 | 423.1 | 269.1 | 64.2 | 26.4 | 15.3 | 23.0 | 1710.3 |
| MIN  | 1.0  | 4.5  | 5.8   | 0.5   | 15.4  | 26.2  | 35.0  | 21.4  | 1.1  | 0.1  | 0.0  | 0.0  | 215.2  |

Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos del Anexo A1 se muestran los diagramas de cajas e histogramas de precipitación de las estaciones que conforman a la región pluviométrica I

Por otro lado, analizado la precipitación ante un evento ENOS se tiene los siguiente : la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte provoca un exceso pluviométrico de +90.9% sobre su valor normal, la presencia de un evento el niño de categoría moderado genera una anomalía pluviométrica de +14.8% con respecto a la precipitación normal, la anomalía pluviométrica ocasionada por el evento la niña de categoría fuerte es de +12.7%, sin embargo en un evento la niña de categoría moderada la anomalía pluviométrico es de +57.7% en relación a su valor normal. Los resultados presentados nos muestran que ante la ocurrencia de un evento ENOS en esta región pluviométrica las anomalías de la precipitación siempre serán positivas presentando un exceso de pluviométrico con respecto a su valor normal, tal como se muestra en el gráfico N°8.0

**Gráfico N°8.0 Comportamiento de la precipitación anual ante un evento ENOS – Región Homogénea I**

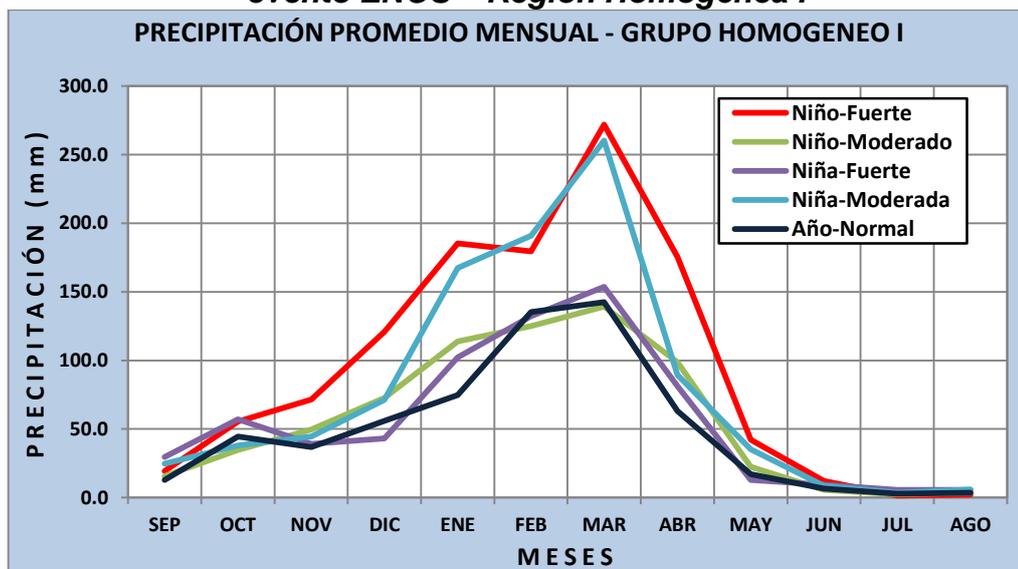


Fuente: Elaboración Propia

Analizando la precipitación de manera mensual se tiene los siguiente : la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte en este grupo homogéneo, ocasiona una gran anomalía positiva de la precipitación en relación a su valor normal, haciéndose notar estas variaciones en el rango de noviembre -julio del año hidrológico. Sin embargo en un evento pluviométrico niño moderado las anomalías de las precipitaciones mensuales se harán notar en el rango de Noviembre-

Mayo del año hidrológico siendo las anomalías para esta categoría no tan severas en comparación a las presentadas en el niño fuerte. Por otro lado las anomalías pluviométricas para un evento niña fuerte se encuentran cercanas a su valor normal, asimismo las anomalías pluviométricas para un evento niña moderada se harán notar en los meses de Noviembre – Junio del año hidrológico con un exceso de precipitación considerable en referencia a su valor normal. Por último no se presenta variaciones muy significativas ante un evento niño de categoría moderado y niña de categoría fuerte, pero si es notable el exceso de precipitación ante un evento niño de categoría fuerte y niña de categoría moderada. Ver Gráfico N°9.0

**Gráfico N°9.0 Comportamiento de la precipitación mensual ante un evento ENOS – Región Homogénea I**



#### 4.3.2. Región homogénea II:

Los niveles altitudinales de esta región pluviométrica está comprendido entre 1248 y 4284 msnm. Políticamente cubre parcialmente los distritos de Sinsicap, Otuzco, Charat, Marmot, Quiruvilca, Usquil, Huaranchal, Sayapullo, Lucma, Cospan, Cascas, Guzmango y Contumaza. La precipitación promedio anual alcanza los 784.2 mm, concentrándose el 93% de lluvia acumulada entre los meses de Octubre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. La temperatura extremas varían entre 7.4 ° C en Julio y 21.8°C en Agosto. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Diciembre con un valor de 66.9mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 54.2mm

En el Cuadro N°10.0 se presenta el comportamiento mensual de las variables climáticas de temperatura, evapotranspiración y precipitación de la región homogénea II.

**Cuadro N° 10.0, Climatología de temperatura, evapotranspiración y precipitación en la región homogénea II**

| REGIÓN HOMOGÉNEA II     |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| TEMPERATURA (°C)        |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| Tmáx                    | 20.7  | 20.5  | 20.3  | 20.5 | 21.3 | 21.1 | 21.4 | 21.8 | 21.7 | 21.4 | 21.3 | 20.8 | 21.8  |
| Tmed                    | 15.3  | 15.3  | 15.3  | 15.1 | 14.9 | 14.4 | 14.4 | 14.8 | 15.2 | 15.3 | 15.3 | 15.4 | 15.1  |
| T min                   | 9.8   | 10.1  | 10.2  | 9.7  | 8.6  | 7.7  | 7.4  | 7.8  | 8.7  | 9.3  | 9.3  | 10.0 | 7.4   |
| EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm) |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| ETP(mes)                | 64.7  | 58.5  | 63.6  | 59.7 | 59.8 | 54.2 | 56.1 | 59.0 | 60.3 | 64.8 | 63.5 | 66.9 | 731.1 |
| PRECIPITACIÓN (mm)      |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| ETP(mes)                | 104.7 | 136.6 | 156.3 | 92.8 | 31.4 | 10.8 | 5.6  | 7.8  | 29.8 | 68.1 | 60.0 | 80.4 | 784.2 |

Fuente: Elaboración Propia

Las características descriptivas que sintetizan el comportamiento pluviométrico de esta región se presentan en el Cuadro N°11.0.

**Cuadro N° 11.0, Características descriptivas de la precipitación en la región homogénea II**

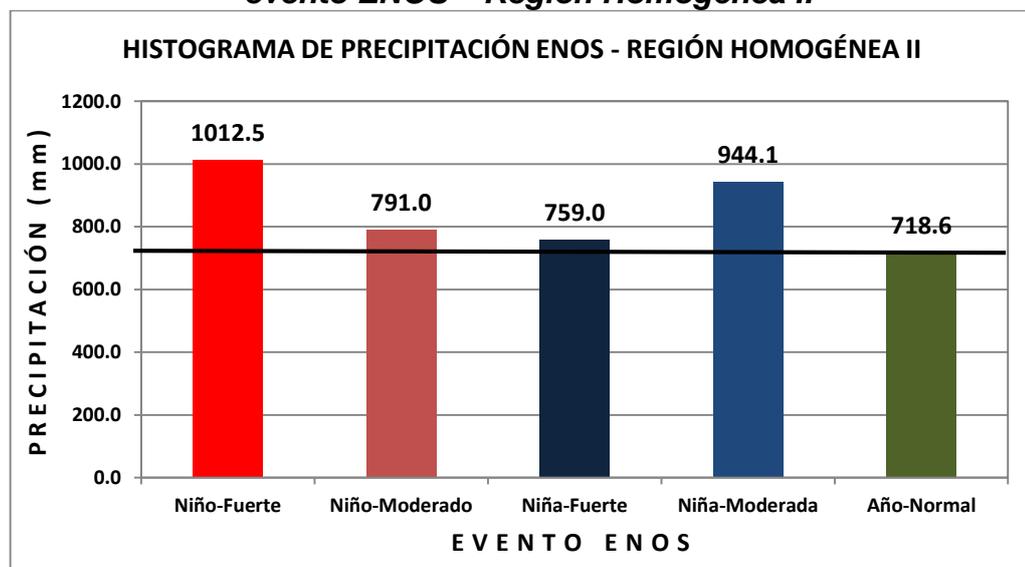
| PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE PRECIPITACIÓN EN REGIÓN HOMOGÉNEA II |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |        |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------|
| PARÁMETROS  | SEP  | OCT   | NOV   | DIC   | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | ANUAL  |
| MEDIA   | 29.8 | 68.1  | 60.0  | 80.4  | 104.7 | 136.6 | 156.3 | 92.8  | 31.4 | 10.8 | 5.6  | 7.8  | 784.2  |
| DESVEST   | 16.0 | 29.6  | 26.2  | 39.5  | 52.4  | 69.4  | 69.3  | 40.0  | 17.8 | 8.1  | 4.7  | 6.4  | 206.6  |
| CV  | 0.5  | 0.4   | 0.4   | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.4   | 0.4   | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.8  | 0.3    |
| C.ASIM  | 0.4  | 0.1   | 0.4   | 0.7   | 0.6   | 1.1   | 0.7   | 0.7   | 1.0  | 0.8  | 1.1  | 1.3  | 0.3    |
| CURTOSIS  | -0.1 | -0.9  | -0.3  | 1.1   | -0.5  | 1.9   | -0.4  | 0.0   | 1.4  | 0.3  | 1.4  | 1.7  | 0.8    |
| MAX   | 71.6 | 121.9 | 126.5 | 205.3 | 227.7 | 344.5 | 308.2 | 188.4 | 91.5 | 33.0 | 19.8 | 28.0 | 1407.8 |
| MIN   | 1.5  | 6.4   | 16.4  | 2.1   | 35.8  | 19.3  | 57.2  | 28.0  | 6.1  | 0.8  | 0.0  | 0.1  | 301.0  |

Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos del Anexo A1 se muestran los diagramas de cajas e histogramas de precipitación de las estaciones que conforman a la región pluviométrica II

Por otro lado, analizado la precipitación ante un evento ENOS se tiene los siguiente : la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte provoca un exceso pluviométrico de +40.9% sobre su valor normal, la presencia de un evento el niño de categoría moderado genera una anomalía pluviométrica de +10.1% con respecto a la precipitación normal, la anomalía pluviométrica ocasionada por el evento la niña de categoría fuerte es de +5.6%, sin embargo en un evento la niña de categoría moderada la anomalía pluviométrico es de +31.4% en relación a su valor normal. Los resultados presentados nos muestran que ante la ocurrencia de un evento ENOS en esta región pluviométrica las anomalías de la precipitación siempre serán positivas presentando un exceso de pluviométrico con respecto a su valor normal. Asimismo, como esta región es una zona donde las precipitaciones son altas en años normales las anomalías en años niño y niña no son tal elevadas en comparación con los resultados encontrados en la región pluviométrica I . Ver el gráfico N°10.0

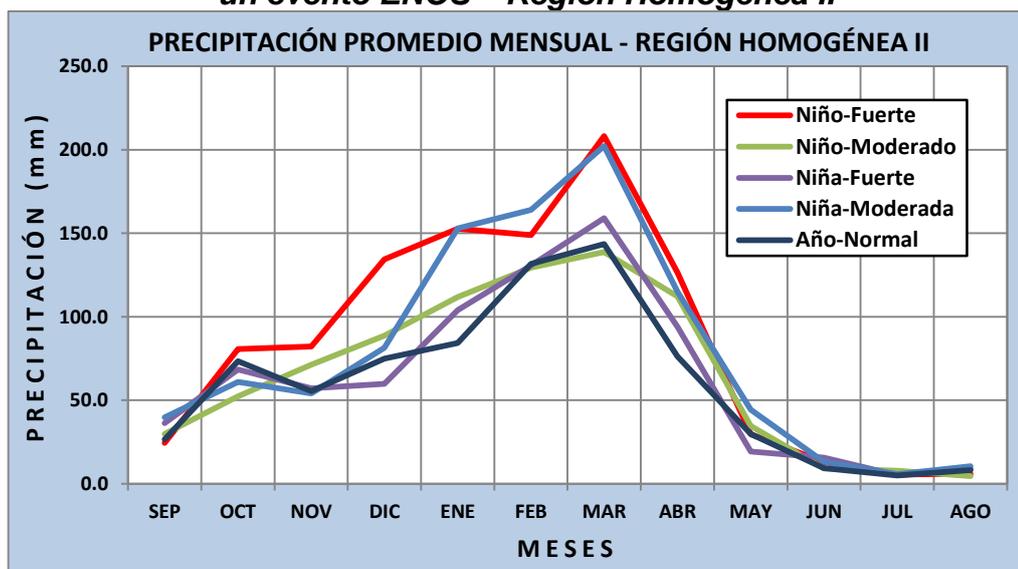
**Gráfico N°10.0 Comportamiento de la precipitación anual ante un evento ENOS – Región Homogénea II**



Fuente: Elaboración Propia

Analizando la precipitación de manera mensual se tiene lo siguiente: la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte en este grupo homogéneo, ocasiona una gran anomalía positiva de la precipitación en relación a su valor normal, haciéndose notar estas variaciones en el rango de Octubre - Abril del año hidrológico. Sin embargo en un evento pluviométrico niño moderado las anomalías de las precipitaciones mensuales se harán notar en el rango de Noviembre-Mayo del año hidrológico siendo las anomalías para esta categoría no tan severas en comparación a las presentadas en el niño fuerte. Por otro lado las anomalías pluviométricas para un evento niña fuerte se encuentran cercanas a su valor normal presentándose los excesos pluviométricos en los meses de Enero - Abril, asimismo las anomalías pluviométricas para un evento niña moderada se harán notar en los meses de Diciembre – Junio del año hidrológico con un exceso de precipitación considerable en referencia a su valor normal. Por último no se presenta variaciones muy significativas ante un evento niño de categoría moderado y niña de categoría fuerte, pero si es notable el exceso de precipitación ante un evento niño de categoría fuerte y niña de categoría moderada. Ver Gráfico N°11.0

**Gráfico N°11.0 Comportamiento de la precipitación mensual ante un evento ENOS – Región Homogénea II**



Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.3. Región homogénea III:

Los niveles altitudinales de esta región pluviométrica está comprendido entre 0 y 1623 msnm. Políticamente cubre parcialmente los distritos de Ascope, Chicama, Santiago de Cao, Casagrande, Chocope y Magdalena de Cao. La precipitación promedio anual alcanza los 97.7 mm, concentrándose el 93% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. La temperatura extremas varían entre 14.4 ° C en Agosto y 31°C en Febrero. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Marzo con un valor de 111.5mm asimismo la mínima se muestra en Agosto con un valor de 60.1mm

En el Cuadro N°12.0 se presenta el comportamiento mensual de las variables climáticas de temperatura, evapotranspiración y precipitación de la región homogénea III.

**Cuadro N° 12.0, Climatología de temperatura, evapotranspiración y precipitación en la región homogénea III**

| REGIÓN HOMOGÉNEA III    |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| TEMPERATURA (°C)        |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| Tmáx                    | 29.9  | 31.0  | 30.8  | 29.7 | 27.4 | 25.4 | 25.0 | 24.9 | 25.2 | 25.8 | 26.8 | 28.3 | 31.0  |
| Tmed                    | 24.7  | 25.9  | 25.6  | 24.2 | 22.0 | 20.5 | 19.9 | 19.7 | 19.9 | 20.4 | 21.3 | 22.9 | 22.3  |
| T min                   | 19.5  | 20.8  | 20.5  | 18.8 | 16.5 | 15.6 | 14.8 | 14.4 | 14.5 | 15.1 | 15.8 | 17.6 | 14.4  |
| EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm) |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| ETP(mes)                | 103.4 | 104.3 | 111.5 | 93.5 | 76.4 | 63.2 | 60.9 | 60.1 | 60.6 | 67.8 | 73.3 | 89.3 | 964.3 |
| PRECIPITACIÓN (mm)      |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Mes                     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Anual |
| ETP mes)                | 11.8  | 22.6  | 33.8  | 11.7 | 4.2  | 1.3  | 0.5  | 0.6  | 1.4  | 2.7  | 2.6  | 4.6  | 97.7  |

Fuente: Elaboración Propia

Las características descriptivas que sintetizan el comportamiento pluviométrico de esta región se presentan en el Cuadro N°13.0.

**Cuadro N° 13.0, Características descriptivas de la precipitación en la región homogénea III**

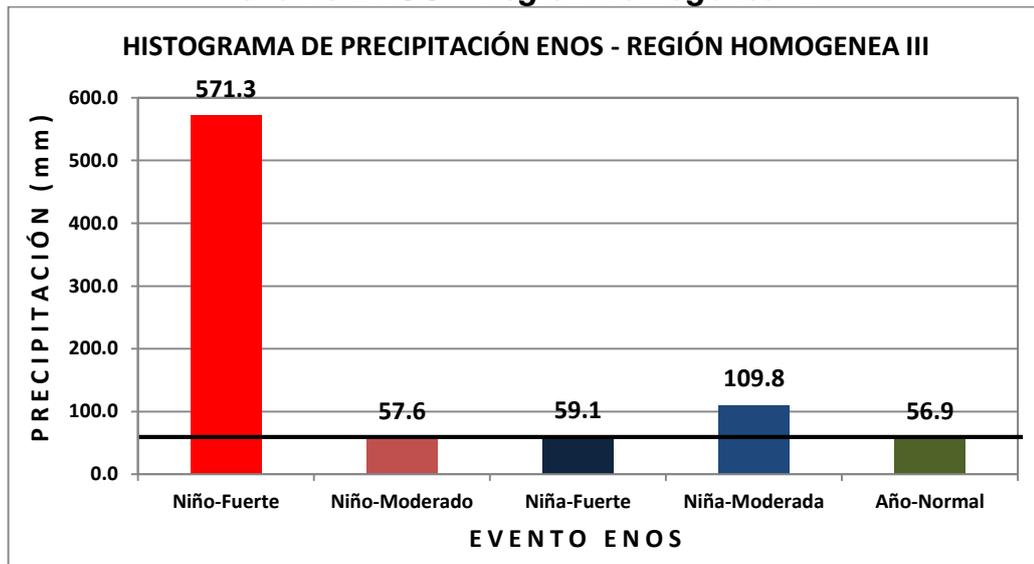
| PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE PRECIPITACIÓN EN REGIÓN HOMOGÉNEA III |     |      |      |      |       |       |       |       |      |      |      |     |        |
|--|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|--------|
| PARÁMETROS   | SEP | OCT  | NOV  | DIC  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY  | JUN  | JUL  | AGO | ANUAL  |
| <b>MEDIA</b>   | 1.4 | 2.7  | 2.6  | 4.6  | 11.8  | 22.6  | 33.8  | 11.7  | 4.2  | 1.3  | 0.5  | 0.6 | 97.7   |
| <b>DESVEST</b>   | 1.7 | 2.3  | 4.1  | 10.2 | 26.1  | 53.6  | 62.9  | 21.8  | 12.8 | 2.3  | 1.0  | 1.1 | 169.3  |
| <b>CV</b>  | 1.2 | 0.9  | 1.6  | 2.2  | 2.2   | 2.4   | 1.9   | 1.9   | 3.1  | 1.7  | 2.1  | 1.8 | 1.7    |
| <b>C.ASIM</b>  | 1.5 | 0.5  | 3.9  | 5.2  | 4.9   | 6.0   | 3.6   | 4.8   | 6.0  | 3.7  | 4.0  | 2.5 | 4.6    |
| <b>CURTOSIS</b>  | 1.9 | -0.6 | 19.5 | 31.1 | 27.2  | 38.0  | 14.6  | 26.7  | 38.3 | 17.2 | 19.9 | 6.9 | 22.8   |
| <b>MAX</b>   | 6.5 | 8.8  | 24.8 | 66.3 | 164.5 | 362.7 | 344.5 | 138.7 | 85.8 | 13.7 | 5.9  | 5.2 | 1031.9 |
| <b>MIN</b>   | 0.0 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.9   | 0.3   | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0 | 9.0    |

Fuente: Elaboración Propia

En los gráficos del Anexo A1 se muestran los diagramas de cajas e histogramas de precipitación de las estaciones que conforman a la región pluviométrica III

Por otro lado, analizado la precipitación ante un evento ENOS se tiene lo siguiente : la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte provoca un exceso pluviométrico de +904.0% sobre su valor normal, la presencia de un evento el niño de categoría moderado genera una anomalía pluviométrica de +1.3% con respecto a la precipitación normal, la anomalía pluviométrica ocasionada por el evento la niña de categoría fuerte es de +3.9%, sin embargo en un evento la niña de categoría moderada la anomalía pluviométrico es de +92.9% en relación a su valor normal. Los resultados presentados nos muestran que ante la ocurrencia de un evento ENOS en esta región pluviométrica las anomalías de la precipitación siempre serán positivas presentando un exceso de pluviométrico con respecto a su valor normal. Asimismo, como esta región es una zona en donde las precipitaciones son Bajas en años normales, la presencia de un año niño de categoría fuerte genera anomalías muy significativas que sobre pasan el valor normal en una proporción de 1 a 10. Ver el gráfico N°12.0

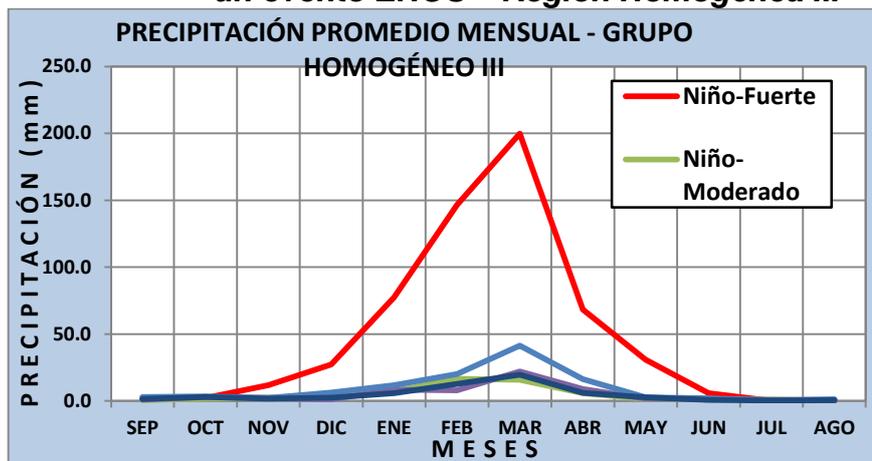
**Gráfico N°12.0 Comportamiento de la precipitación anual ante un evento ENOS – Región Homogénea III**



Fuente: Elaboración Propia

Analizando la precipitación de manera mensual se tiene lo siguiente: la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte en este grupo homogéneo, ocasiona una gran anomalía positiva de la precipitación en relación a su valor normal, haciéndose notar estas variaciones en los meses de Noviembre - Junio del año hidrológico. Sin embargo en un evento pluviométrico niño moderado las anomalías de las precipitaciones mensuales se harán notar en el rango de Noviembre-Febrero del año hidrológico siendo las anomalías para esta categoría no tan severas en comparación a las presentadas en el niño fuerte. Por otro lado las anomalías pluviométricas para un evento niña fuerte se encuentran cercanas a su valor normal, asimismo las anomalías pluviométricas para un evento niña moderada se harán notar en los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico con un exceso de precipitación considerable en referencia a su valor normal. Por último no se presenta variaciones muy significativas ante un evento niño de categoría moderado y niña de categoría fuerte, pero si es notable el exceso de precipitación ante un evento niño de categoría fuerte y niña de categoría moderada. Ver Gráfico N°13.0

**Gráfico N°13.0 Comportamiento de la precipitación mensual ante un evento ENOS – Región Homogénea III**



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4. Tendencias en el comportamiento pluviométrico regional

En el Cuadro N° 14.0, se presenta el resumen general de las tendencias encontradas entre el período 1966-67 hasta 2011-12. Se observa que existe una tendencia positiva muy bien definida a nivel anual en las regiones homogéneas I y II con una significancia de 99% y 95% respectivamente.

**Cuadro N° 14.0, Análisis de tendencia para la zona de estudio**

| ANÁLISIS | REGIÓN | MANN - KENDALL | SPEARMAN'S RHO | LINEAR REGRESSION |
|----------|--------|----------------|----------------|-------------------|
| ANUAL    | I      | S***           | S***           | S***              |
|          | II     | S*             | S**            | S**               |
|          | III    |                |                |                   |
| SON      | I      |                |                |                   |
|          | II     |                |                |                   |
|          | III    |                |                |                   |
| DEF      | I      | S**            | S**            | S**               |
|          | II     | S*             | S*             | S*                |
|          | III    |                |                |                   |
| MAM      | I      | S***           | S***           | S***              |
|          | II     | S*             | S*             |                   |
|          | III    |                |                |                   |
| JJA      | I      |                |                |                   |
|          | II     | (-)S**         | (-)S**         | (-)S**            |
|          | III    |                |                |                   |

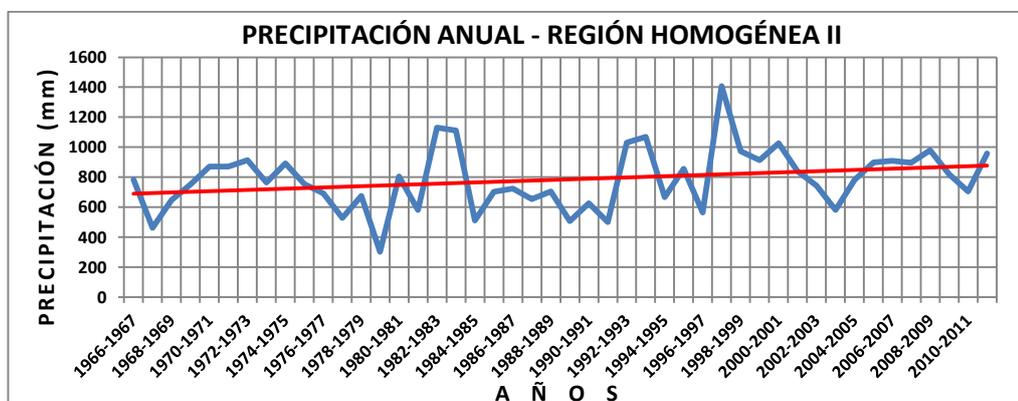
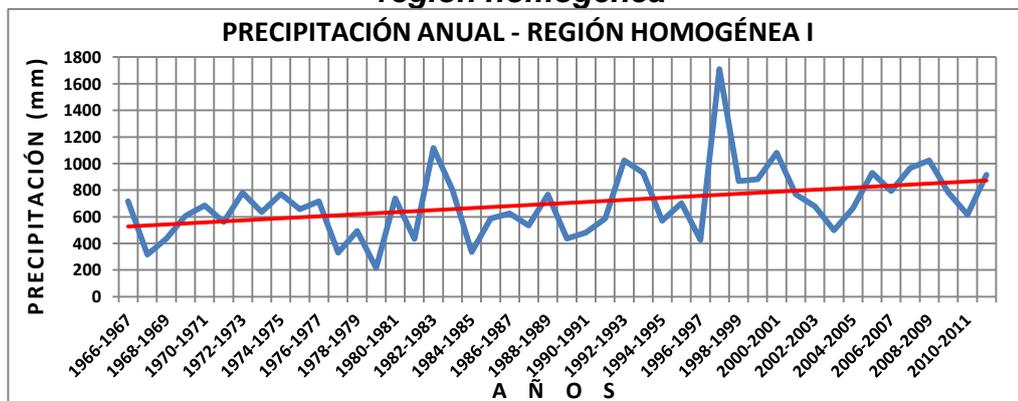
Fuente: Elaboración Propia

S: Significativo \*(90%), \*\* (95%), \*\*\* (99%), (-) negativo

Respecto al análisis de las estaciones climáticas, en las regiones homogéneas I y II se observa una tendencia positiva en las estaciones DEF Y MAM las cuales pertenecen a los periodos lluviosos de la zona de estudio. Por otro lado, en la estación climática DEF las regiones homogéneas I y II se presentaron una tendencia (+S) significancia de 95% y 90% respectivamente, asimismo para la estación climática MAM la tendencia positiva en la región homogénea I y II se presentó con una significancia de 99% y 90% respectivamente. Por último, la región homogénea II en la estación climática JJA (periodo poco lluvioso) presenta una tendencia negativa con una significancia de 95%.

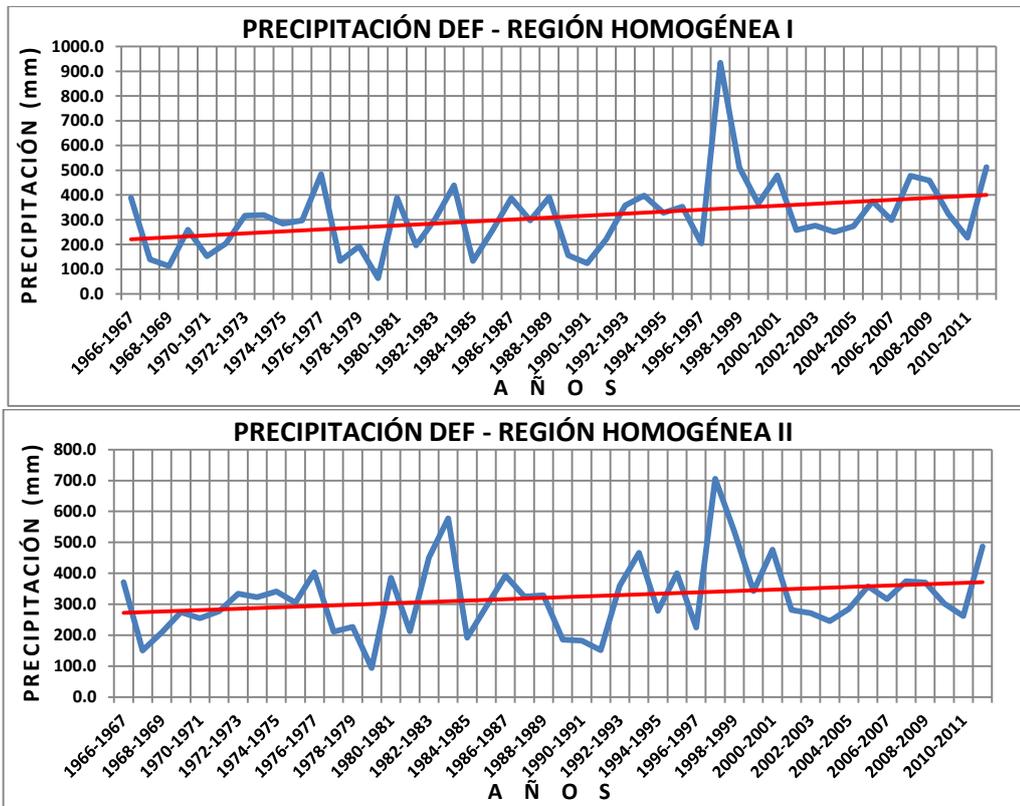
En los gráficos N°14, N°15, N°16 y N°17 se ilustra las series pluviométricas regionales en las cuales se han identificado tendencias significativas en su comportamiento anual y trimestral.

**Gráfico N°14.0 Tendencia en las series anuales de precipitación por región homogénea**



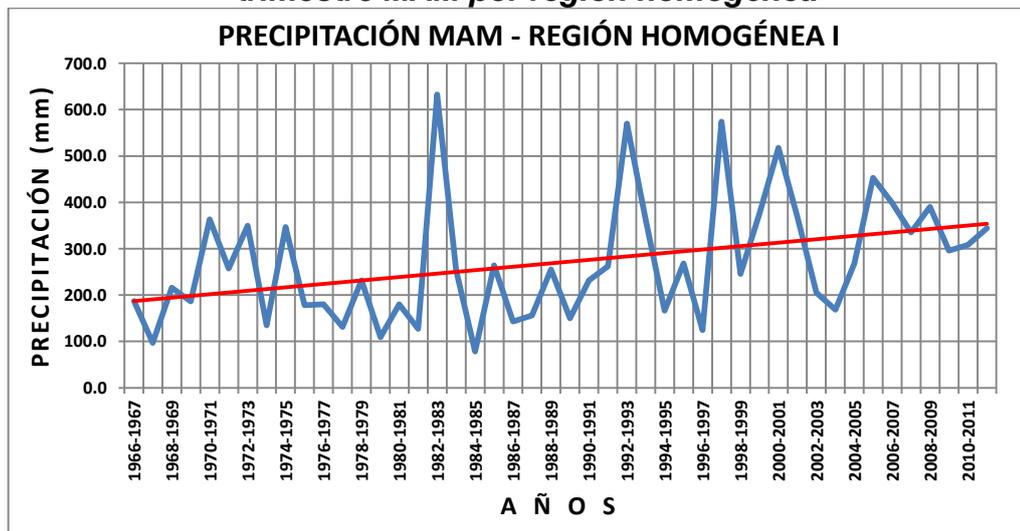
Fuente: Elaboración Propia

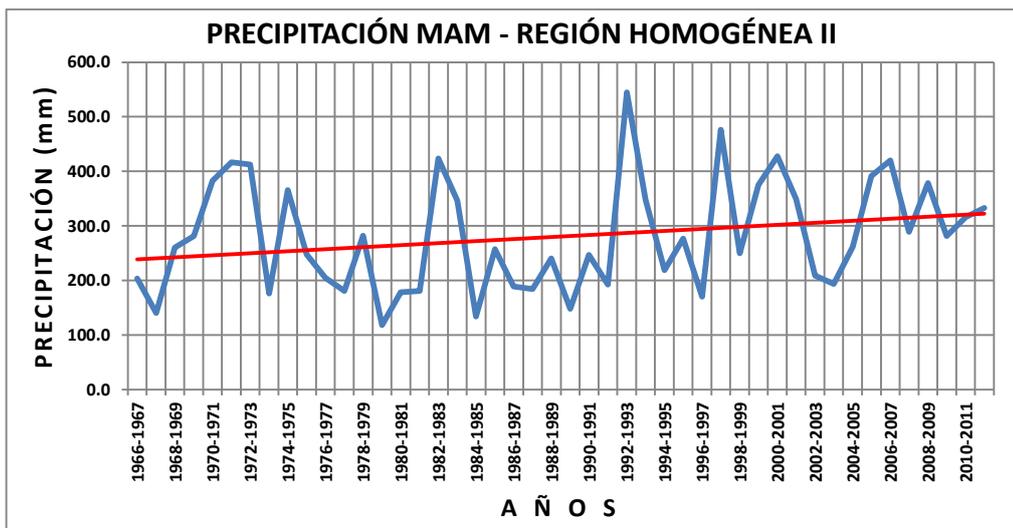
**Gráfico N°15.0 Tendencia en las series de precipitación del trimestre DEF por región homogénea**



Fuente: Elaboración Propia

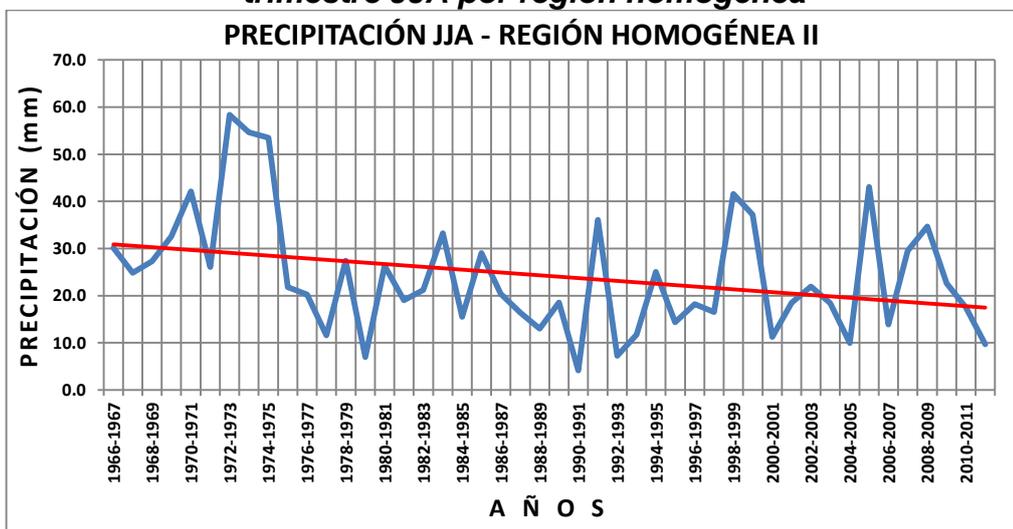
**Gráfico N°16.0 Tendencia en las series de precipitación del trimestre MAM por región homogénea**





Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°17.0 Tendencia en las series de precipitación del trimestre JJA por región homogénea**



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5. Patrones geoespaciales de las variables climáticas

##### 4.5.1. Patrones geoespaciales de la precipitación

Bajo la aplicación del modelo matemático geoespacial de la precipitación multianual se determinó la siguiente ecuación:

$$PP = (-2.60117 * 10^{-8} * x^2) - (5.80652 * 10^{-8} * y^2) + (7.83916 * 10^{-5} * z^2) - (8.31095 * 10^{-8} * x * y) - (6.65309 * 10^{-7} * x * z) + (1.46675 * 10^{-6} * y * z) + (0.805863496 * x) + (1.126594583 * y) - (13.0170133 * z) - 5465975.079$$

Siendo las estadísticas del modelo matemático geoespacial la que se indican en el Cuadro N°15.0

**Cuadro N°15.0 Resultado del análisis de regresión de la precipitación anual**

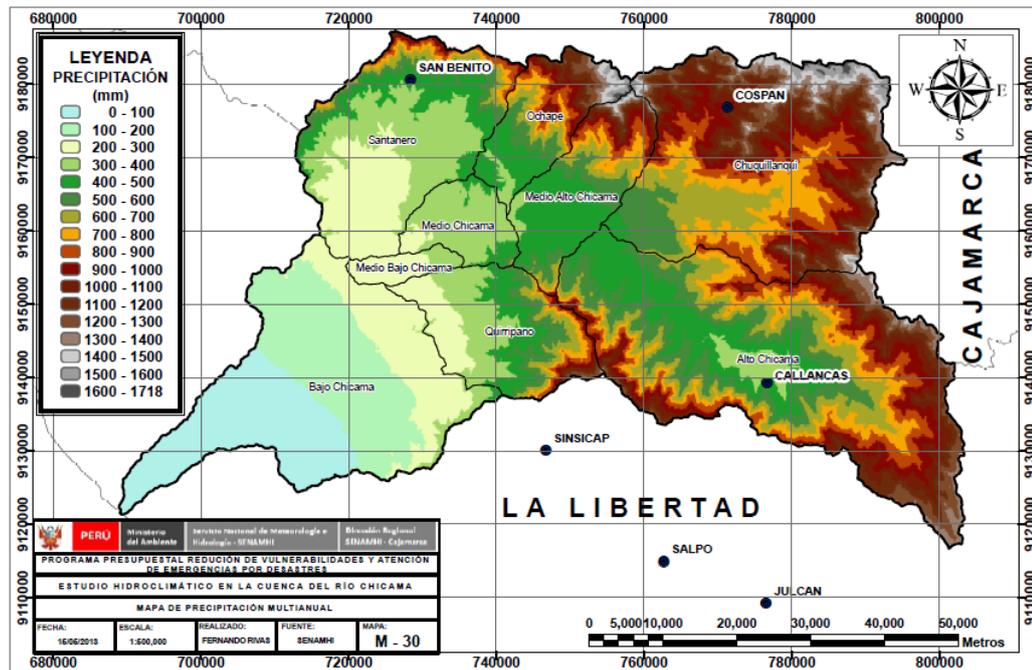
| <b>ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN</b>         |          |
|---|----------|
| Coeficiente de correlación múltiple         | 0.9241   |
| Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.8540   |
| R <sup>2</sup> ajustado                     | 0.6664   |
| Error típico                                | 188.3652 |
| Observaciones                               | 17       |

Fuente: Elaboración Propia

El mapa M-30 que se muestra en el anexo A-III o figura N°18 representa la distribución espacial de la precipitación multianual en la cuenca del río Chicama. Asimismo, mediante el mapa se identificó los rangos de precipitación para cada región homogénea los mismos que se mencionaran a continuación:

- Región pluviométrica I, posee una precipitación multianual que oscila entre los 74 y 1112mm, ocupa el 36 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 383 y 3018msnm.
- Región pluviométrica II, posee una precipitación multianual que oscila entre los 337 y 1718mm, ocupa el 46.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 1248 y 4284msnm.
- Región pluviométrica III, posee una precipitación multianual que oscila entre los 0 y 337mm, ocupa el 17.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 0 y 1623msnm.

**Figura N°18.0 Distribución espacial de la precipitación anual en la cuenca del río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

Los mapas de precipitación multimensual de Enero a Diciembre (mapas del M-18 al M29) se muestran en el anexo A-III.

Las estadísticas de los modelos matemáticos geospaciales de la precipitación multimensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-1 del anexo A-II

Por otro lado, los coeficientes de los modelos matemáticos geospaciales de la precipitación multimensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-2 del anexo A-II

## 4.5.2. Patrones geospaciales de la temperatura

### 4.5.2.1. Temperatura máxima

Bajo la aplicación del modelo matemático geoespacial de la temperatura máxima anual se determinó la siguiente ecuación:

$$T_{max} = (2.3312 * 10^{-5} * x) + (2.2994 * 10^{-5} * y) - (0.00353 * z) - 199.19622$$

Siendo las estadísticas del modelo matemático geoespacial la que se indican en el Cuadro N°16.0

**Cuadro N°16.0 Resultado del análisis de regresión de la temperatura máxima anual**

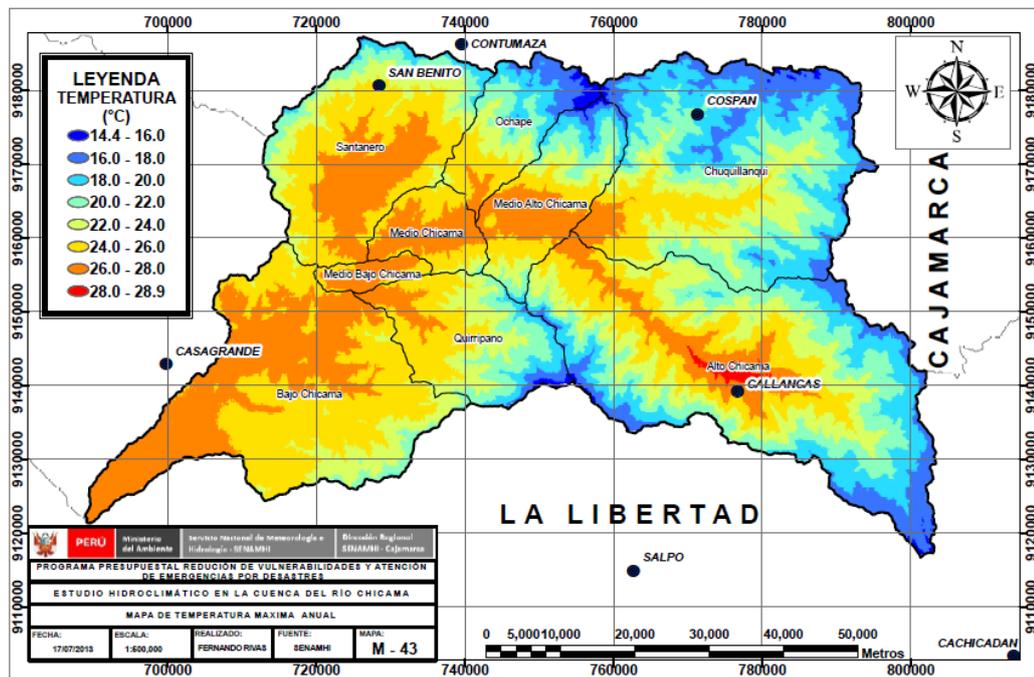
| <b>ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN</b>         |        |
|---|--------|
| Coeficiente de correlación múltiple         | 0.8830 |
| Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.7797 |
| R <sup>2</sup> ajustado                     | 0.7408 |
| Error típico                                | 2.2197 |
| Observaciones                               | 21     |

Fuente: Elaboración Propia

El mapa M-43 que se muestra en el anexo A-III o figura N°19 representa la distribución espacial de la temperatura máxima anual en la cuenca del río Chicama. Asimismo, mediante el mapa se identificó los rangos de temperatura máxima para cada región homogénea los mismos que se mencionaran a continuación:

- Región pluviométrica I, posee una temperatura máxima anual que oscila entre los 18.5°C y 28.9°C, ocupa el 36 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 383 y 3018msnm.
- Región pluviométrica II, posee una temperatura máxima anual que oscila entre los 14.4°C y 28.9°C, ocupa el 46.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 1248 y 4284msnm.
- Región pluviométrica III, posee una temperatura máxima anual que oscila entre los 22.0°C y 27.4°C, ocupa el 17.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 0 y 1623msnm.

**Figura N°19.0 Distribución espacial de la temperatura máxima anual en la cuenca del río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

Los mapas de temperatura máxima mensual de Enero a Diciembre (mapas del M-31 al M42) se muestran en el anexo A-III.

Las estadísticas de los modelos matemáticos geospaciales de la temperatura máxima mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-3 del anexo A-II

Por otro lado, los coeficientes de los modelos matemáticos geospaciales de la temperatura máxima mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-4 del anexo A-II

#### 4.5.2.2. Temperatura mínima

Bajo la aplicación del modelo matemático geoespacial de la temperatura mínima anual se determinó la siguiente ecuación:

$$T_{min} = (9.1107 * 10^{-6} * x) + (9.3284 * 10^{-6} * y) - (0.00384 * z) - 73.34635$$

Siendo las estadísticas del modelo matemático geoespacial la que se indican en el Cuadro N°17.0

**Cuadro N°17.0 Resultado del análisis de regresión  
de la temperatura mínima anual**

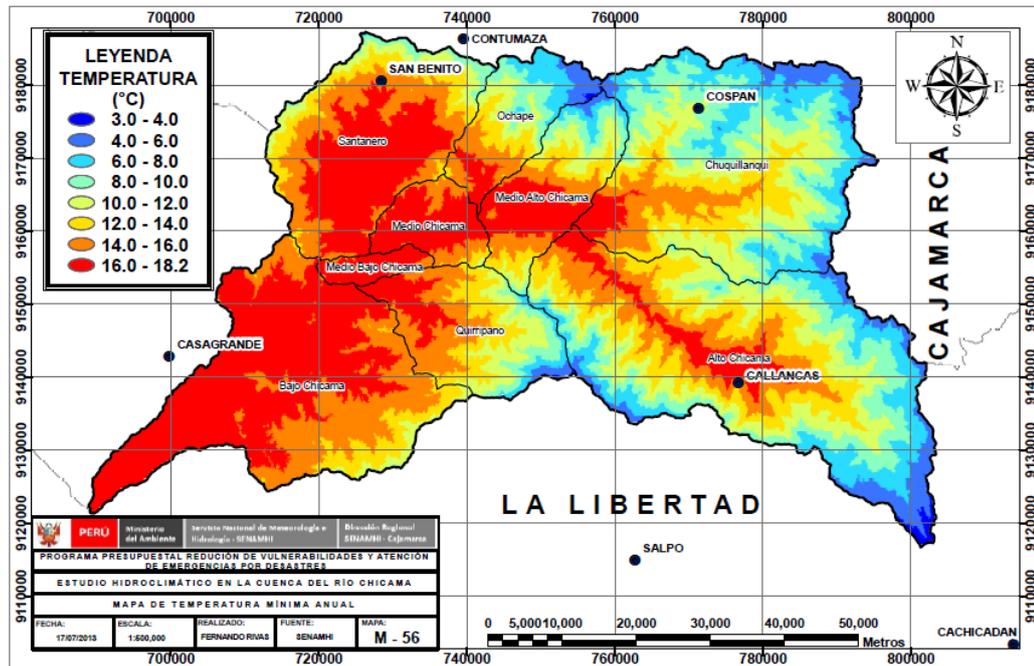
| <b>ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN</b>         |        |
|---|--------|
| Coeficiente de correlación múltiple         | 0.9224 |
| Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.8508 |
| R <sup>2</sup> ajustado                     | 0.8245 |
| Error típico                                | 1.8995 |
| Observaciones                               | 21     |

Fuente: Elaboración Propia

El mapa M-56 que se muestra en el anexo A-III o figura N°20 representa la distribución espacial de la temperatura mínima anual en la cuenca del río Chicama. Asimismo, mediante el mapa se identificó los rangos de temperatura mínima para cada región homogénea los mismos que se mencionaran a continuación:

- Región pluviométrica I, posee una temperatura mínima anual que oscila entre los 8.4°C y 18.2°C, ocupa el 36 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 383 y 3018msnm.
- Región pluviométrica II, posee una temperatura mínima anual que oscila entre los 3.0°C y 18.2°C, ocupa el 46.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 1248 y 4284msnm.
- Región pluviométrica III, posee una temperatura mínima anual que oscila entre los 12.4°C y 18.1°C, ocupa el 17.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 0 y 1623msnm.

**Figura N°20.0 Distribución espacial de la temperatura mínima anual en la cuenca del río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

Los mapas de temperatura mínima mensual de Enero a Diciembre (mapas del M-44al M-55) se muestran en el anexo A-III.

Las estadísticas de los modelos matemáticos geospaciales de la temperatura mínima mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-5 del anexo A-II

Por otro lado, los coeficientes de los modelos matemáticos geospaciales de la temperatura mínima mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-6 del anexo A-II

#### 4.5.2.3. Temperatura media

Bajo la aplicación del modelo matemático geoespacial de la temperatura media anual se determinó la siguiente ecuación:

$$P_{med} = (1.6211 * 10^{-5} * x) + (1.6161 * 10^{-5} * y) - (0.00369 * z) - 136.27128$$

Siendo las estadísticas del modelo matemático geoespacial la que se indican en el Cuadro N°18.0

**Cuadro N°18.0 Resultado del análisis de regresión de la temperatura media anual**

| <b>ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN</b>         |        |
|---|--------|
| Coeficiente de correlación múltiple         | 0.9152 |
| Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.8376 |
| R <sup>2</sup> ajustado                     | 0.8090 |
| Error típico                                | 1.8992 |
| Observaciones                               | 21     |

Fuente: Elaboración Propia

El mapa M-69 que se muestra en el anexo A-III o figura N°21 representa la distribución espacial de la temperatura media anual en la cuenca del río Chicama. Asimismo, mediante el mapa se identificó los rangos de temperatura media para cada región homogénea los mismos que se mencionaran a continuación:

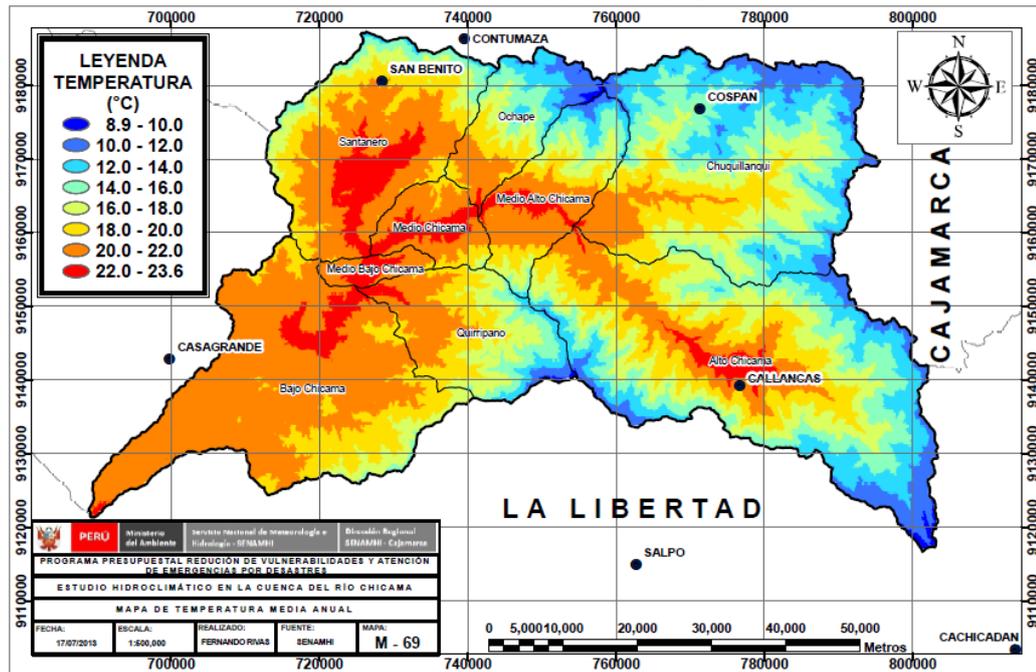
- Región pluviométrica I, posee una temperatura media anual que oscila entre los 13.5°C y 23.6°C, ocupa el 36 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 383 y 3018msnm.
- Región pluviométrica II, posee una temperatura media anual que oscila entre los 8.9°C y 23.6°C, ocupa el 46.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 1248 y 4284msnm.
- Región pluviométrica III, posee una temperatura media anual que oscila entre los 17.2°C y 22.7°C, ocupa el 17.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 0 y 1623msnm.

Los mapas de temperatura media mensual de Enero a Diciembre (mapas del M-57 al M-68) se muestran en el anexo A-III.

Las estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la temperatura media mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-7 del anexo A-II

Por otro lado, los coeficientes de los modelos matemáticos geoespaciales de la temperatura media mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-8 del anexo A-II

**Figura N°21.0 Distribución espacial de la temperatura media anual en la cuenca del río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

**4.5.3. Patrones geospaciales de evapotranspiración**

Bajo la aplicación del modelo matemático geoespacial de evapotranspiración anual se determinó la siguiente ecuación:

$$Evap = (5.7134 * 10^{-4} * x) + (5.5314 * 10^{-4} * y) - (1.5625 * z) - 4377.97708$$

Siendo las estadísticas del modelo matemático geoespacial la que se indican en el Cuadro N°19.0

**Cuadro N°19.0 Resultado del análisis de regresión de la evapotranspiración anual**

| <b>ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN</b>          |         |
|--|---------|
| Coefficiente de correlación múltiple         | 0.9407  |
| Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.8850  |
| R <sup>2</sup> ajustado                      | 0.8647  |
| Error típico                                 | 72.3701 |
| Observaciones                                | 21      |

Fuente: Elaboración Propia

El mapa M-82 que se muestra en el anexo A-III o figura N°22 representa la distribución espacial de la evapotranspiración anual en la cuenca del río Chicama. Asimismo, mediante el mapa se identificó los rangos de

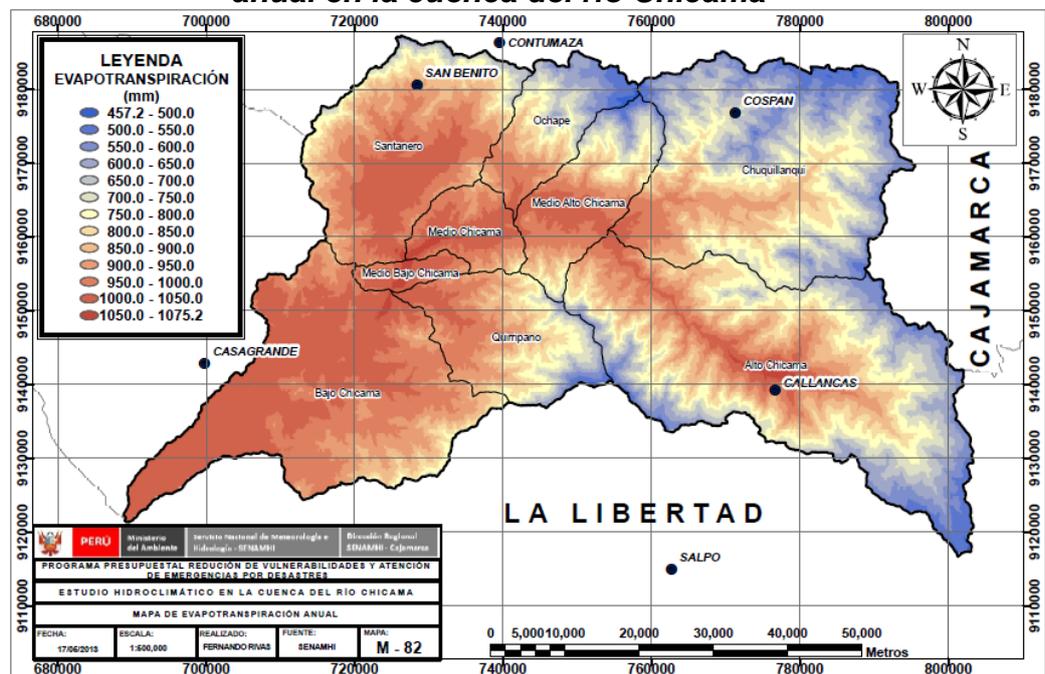
evapotranspiración para cada región homogénea los mismos que se mencionaran a continuación:

Región pluviométrica I, posee una evapotranspiración anual que oscila entre los 642.1mm y 1075.2mm, ocupa el 36 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 383 y 3018msnm.

Región pluviométrica II, posee una evapotranspiración anual que oscila entre los 457.2mm y 1074.3mm, ocupa el 46.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 1248 y 4284msnm.

Región pluviométrica III, posee una evapotranspiración anual que oscila entre los 834.7mm y 1053.9 mm, ocupa el 17.5 % del área de estudio y sus niveles altitudinales fluctúan entre los 0 y 1623msnm.

**Figura N°22.0 Distribución espacial de la evapotranspiración anual en la cuenca del río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

Los mapas de evapotranspiración mensual de Enero a Diciembre (mapas del M-70 al M-81) se muestran en el anexo A-III.

Las estadísticas de los modelos matemáticos geospaciales de la evapotranspiración mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-9 del anexo A-II

Por otro lado, los coeficientes de los modelos matemáticos geospaciales de la evapotranspiración mensual de Enero a Diciembre se indican en el cuadro A2-10 del anexo A-II

#### **4.6. Análisis de caudales**

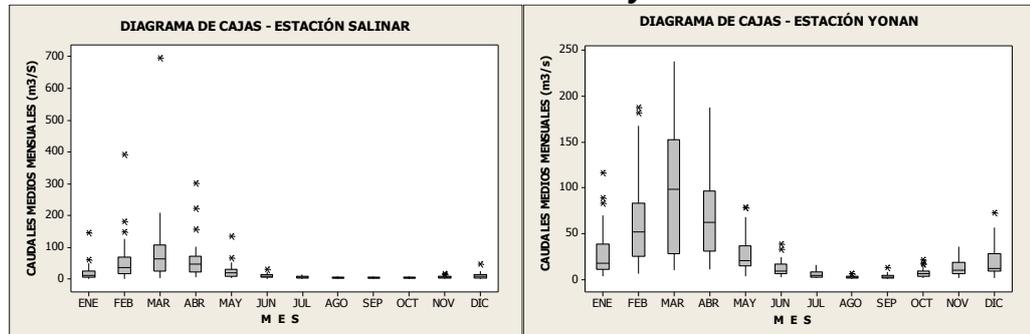
##### **4.6.1. Control de calidad de la información**

El periodo de registro para el análisis de caudales es 34 años en donde la consistencia de la data se realizó mediante un análisis de cajas identificando en ellos valores atípicos los cuales fueron analizados y comparados con el registro de la estación Yonan (Río Jequetepeque), asimismo se realizó un análisis de doble masa en el cual se identificó un quiebre o periodo dudoso (2002 -2010) de la información al cual se le aplicó el análisis estadístico de consistencia de la media (prueba de "T" de Student) y la desviación estándar (prueba de "F" de Fisher ).

En el gráfico N°18 se puede observar los diagramas de cajas de las estaciones hidrológicas Yonan y Salinar, en aquellas la media y la dispersión, aumenta en los meses lluviosos (Noviembre-Mayo). Por otro lado, se hace notorio en estos meses la presencia de valores por encima de 1.5 veces el rango intercuartil (valores que podrían considerarse inicialmente como atípicos o outliers). Sin embargo, parece que la clasificación de estos valores como atípicos pierde fundamento al examinar las estaciones en su conjunto, donde el patrón común es la presencia de los valores por sobre 1.5 veces el rango intercuartil. Por aquello, analizando las estaciones y todos los meses del año obtenemos información relevante para no considerar estos valores como atípicos, sino como valores de una muestra de datos cuya distribución no es normal y que a medida que los registros van siendo más extensos, estos valores altos de caudales van siendo más

recurrentes y por lo tanto no atípicos. Asimismo algunos valores atípicos de la descarga están asociados a la ocurrencia del evento ENOS.

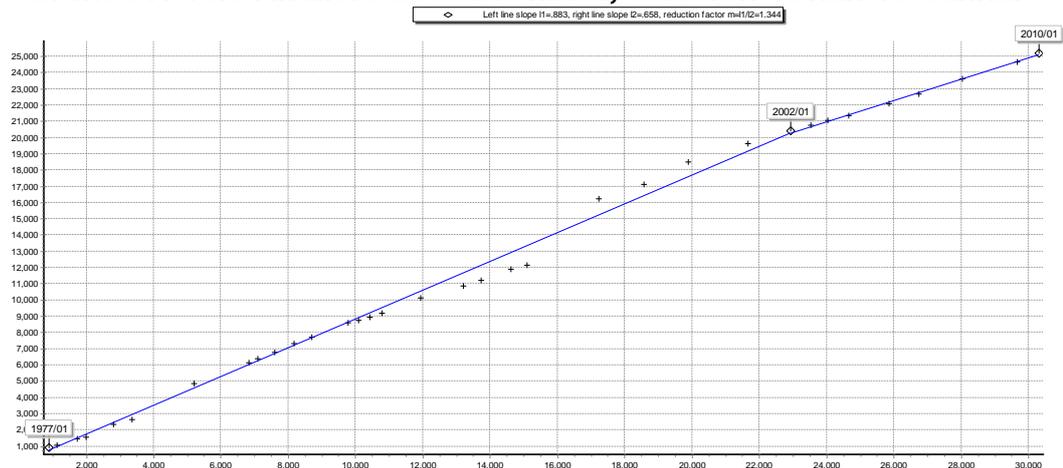
### Gráfico N°18.0 Diagramas de cajas de los caudales registrados en las estaciones Yonan y Salinar



Fuente: Minitab 16

En el análisis de doble masa se identificó un quiebre en la serie de caudales el cual corresponde al periodo 2002 – 2010, según como se observa en el gráfico N°19. Asimismo, se realizó el análisis de consistencia de la media y desviación estándar en donde se observó que la muestra no presenta inconsistencia en la media pero si en la desviación estándar, ver cuadro N°20 y N°21.

### Gráfico N°19.0 Análisis de doble masa, estación Yonan vs Salinar



Fuente: Hydrognomon 4

**Cuadro N°20 Prueba de "T" para la consistencia de la media**

| ESTACIÓN | DATO   | MUESTRA TIPO |           |            | MUESTRA N°1 |           |            | PRUEBA ESTADÍSTICA (T) |        | CONDICIÓN ESTADÍSTICA DE LA MEDIA |
|----------|--------|--------------|-----------|------------|-------------|-----------|------------|------------------------|--------|-----------------------------------|
|          |        | TAMAÑO (n1)  | MEDIA (x) | D. EST (S) | TAMAÑO (n2) | MEDIA (x) | D. EST (S) | Tc                     | Tt     |                                   |
| SALINAR  | CAUDAL | 26           | 785.14    | 825.15     | 8           | 598.20    | 278.92     | 0.6241                 | 2.0369 | EST.IGUALES                       |

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro N°21 Prueba de "F" para la consistencia de la desviación estándar**

| ESTACIÓN | DATO   | MUESTRA TIPO |                            | MUESTRA N°1 |                            | PRUEBA ESTADÍSTICA (F) |        | CONDICIÓN ESTADÍSTICA DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR |
|----------|--------|--------------|----------------------------|-------------|----------------------------|------------------------|--------|---|
|          |        | TAMAÑO (n1)  | VARIANZA (S <sup>2</sup> ) | TAMAÑO (n2) | VARIANZA (S <sup>2</sup> ) | Fc                     | Ft     |   |
| SALINAR  | CAUDAL | 26           | 680867.70                  | 8           | 77796.94                   | 8.7519                 | 3.4036 | EST.DIFERENTE                                   |

Fuente: Elaboración Propia

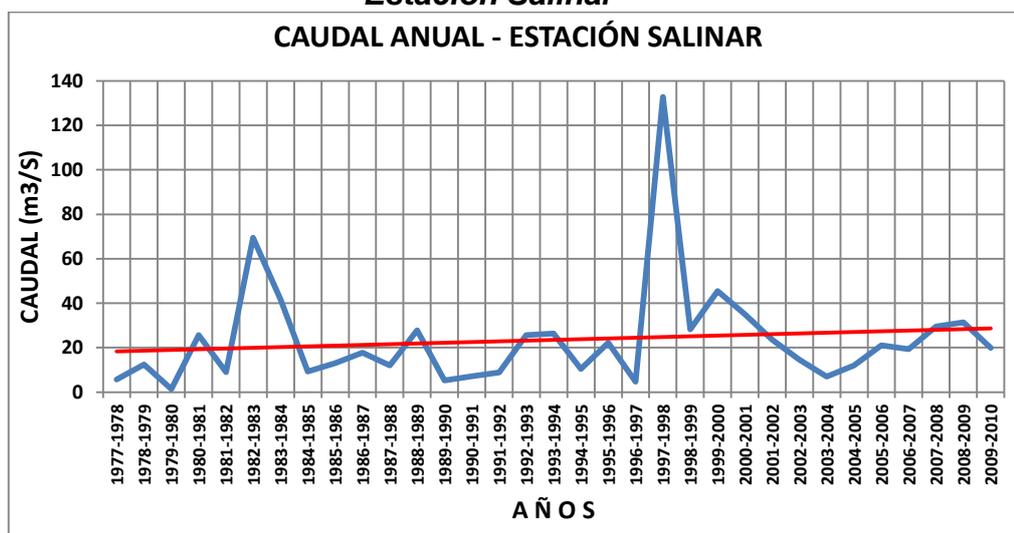
Por otro lado, se realizó el análisis de tendencia de los caudales utilizando test paramétricos (Linear regression) y no paramétricos (Mann-Kendall y Spearman's Rho), según los resultados la muestra no presenta tendencia significativa (NS). Ver cuadro 22 y gráfico N°20

**Cuadro N°22 Tendencia de los caudales anuales y significación estadística**

| TEST ESTADÍSTICO  | PRUEBA ESTADÍSTICA (Z) | VALORES CRÍTICOS (TABLA ESTADÍSTICA) |        |        | RESULTADO |
|-------------------|------------------------|--------------------------------------|--------|--------|-----------|
|                   |                        | a=0.1                                | a=0.05 | a=0.01 |           |
| Mann-Kendall      | 1.503                  | 1.645                                | 1.96   | 2.576  | NS        |
| Spearman's Rho    | 1.588                  | 1.645                                | 1.96   | 2.576  | NS        |
| Linear regression | 0.721                  | 1.696                                | 2.04   | 2.745  | NS        |

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°20.0 Tendencia en la serie de caudal anual – Estación Salinar**



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.6.2. Descripción de los estadísticos descriptivos de los caudales

De acuerdo al record histórico de caudales, se tiene que estos presentan una distribución asimétrica positiva con sesgo hacia la derecha en todos los meses del año y de forma anual. Asimismo, si analizamos el coeficiente de Curtosis que mide el grado de concentración de los datos en la región central de su distribución, podemos observar que entre noviembre y junio tenemos una concentración alta de los caudales cerca a la media, sin embargo entre los meses de julio a agosto tenemos todo lo contrario la

concentración de los caudales es baja en función a la media. Por otro lado, analizando el coeficiente de variación observamos que a medida que nos acercamos a los periodos lluviosos de la zona de estudio la dispersión de la muestra aumenta obteniendo coeficientes de variación mayores o iguales a 1, estos valores son debido a que en eventos el niño de categoría fuerte los caudales aumentaron significativamente generando una alta dispersión en la muestra o registro histórico y por ende se presentan dichos valores. Ver cuadro N°23

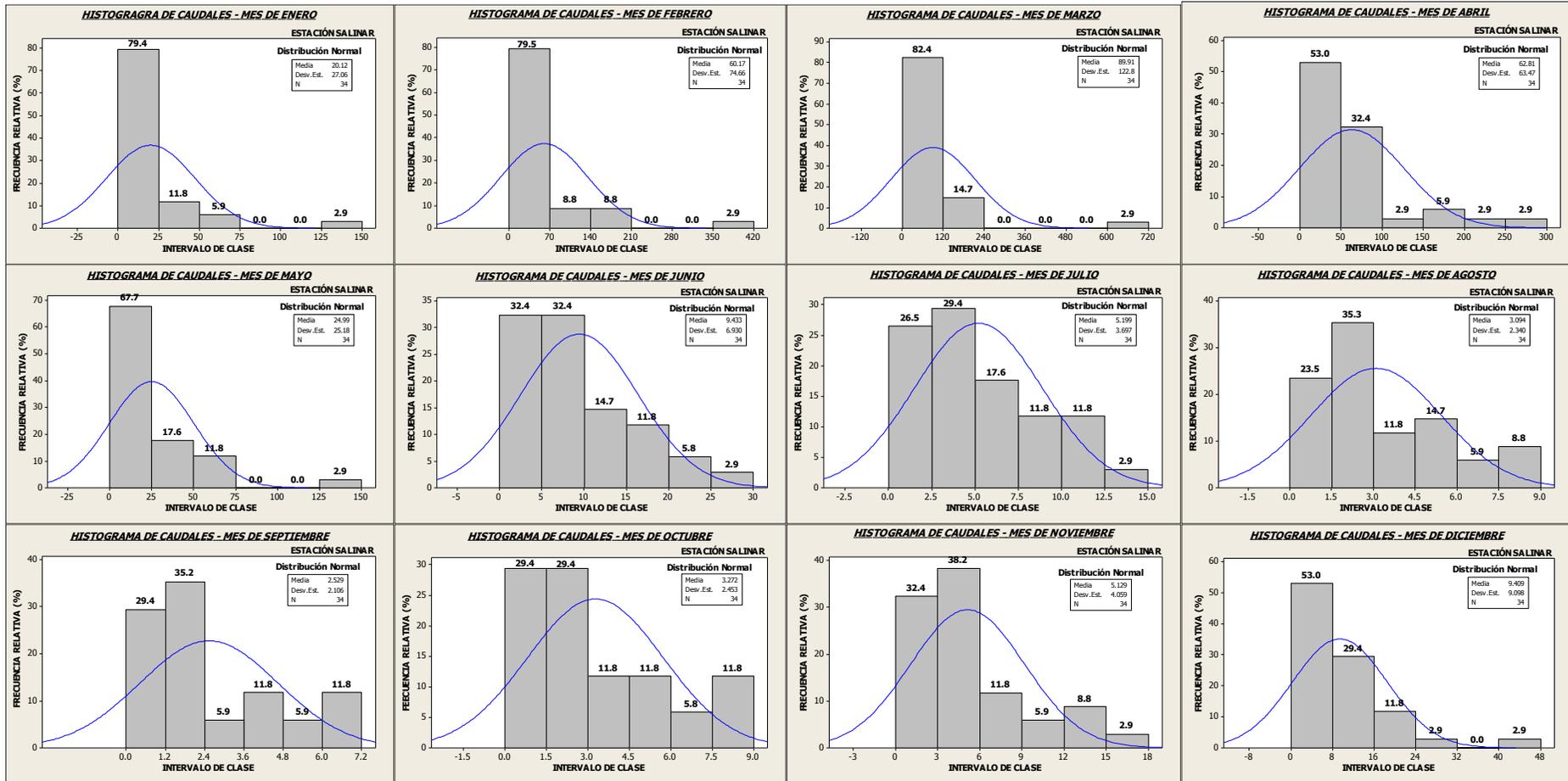
**Cuadro N°23 Estadísticos descriptivos de los caudales en la estación de aforo Salinar**

| PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE CAUDALES - ESTACIÓN SALINAR |      |      |      |      |       |       |       |       |       |      |      |      |       |
|--|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| PARÁMETROS   | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGO  | ANUAL |
| MEDIA  | 2.5  | 3.3  | 5.1  | 9.4  | 20.1  | 60.2  | 89.9  | 62.8  | 25.0  | 9.4  | 5.2  | 3.1  | 24.7  |
| DESVEST  | 2.1  | 2.5  | 4.1  | 9.1  | 27.1  | 74.7  | 122.8 | 63.5  | 25.2  | 6.9  | 3.7  | 2.3  | 24.5  |
| CV   | 0.8  | 0.7  | 0.8  | 1.0  | 1.3   | 1.2   | 1.4   | 1.0   | 1.0   | 0.7  | 0.7  | 0.8  | 1.0   |
| C.ASIM   | 0.9  | 0.8  | 1.2  | 2.2  | 3.3   | 3.0   | 3.9   | 2.3   | 2.8   | 1.2  | 0.8  | 0.7  | 2.8   |
| CURTOSIS   | -0.4 | -0.5 | 1.0  | 6.7  | 13.5  | 11.2  | 18.3  | 5.8   | 10.3  | 1.1  | -0.4 | -0.5 | 10.2  |
| MAX  | 7.0  | 8.6  | 16.5 | 45.7 | 144.8 | 390.9 | 694.8 | 300.3 | 134.3 | 29.7 | 13.8 | 8.2  | 130.4 |
| MIN  | 0.2  | 0.4  | 0.7  | 0.6  | 0.7   | 0.9   | 2.3   | 5.9   | 1.0   | 0.7  | 0.5  | 0.3  | 3.1   |

Fuente: Elaboración Propia

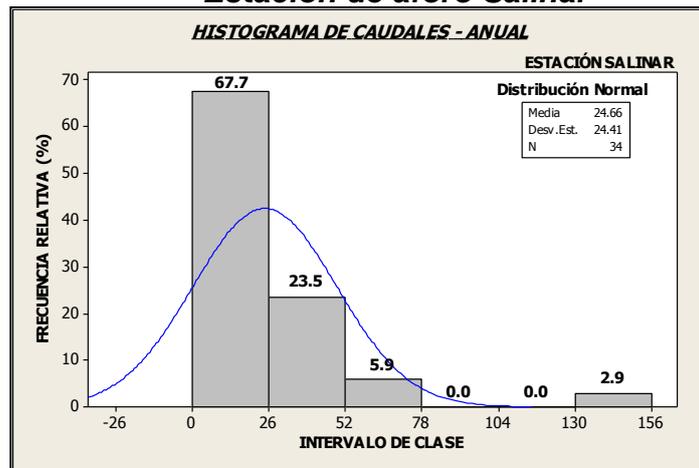
De forma gráfica se puede observar parte de lo mencionado en los histogramas de caudales presentados en gráfico N°21 y N°22

**Gráfico N°21.0 Histograma de caudales mensuales – Estación de aforo Salinar**



Fuente: Minitab 16

### Gráfico N°22.0 Histograma de caudales anuales – Estación de aforo Salinar



Fuente: Minitab 16

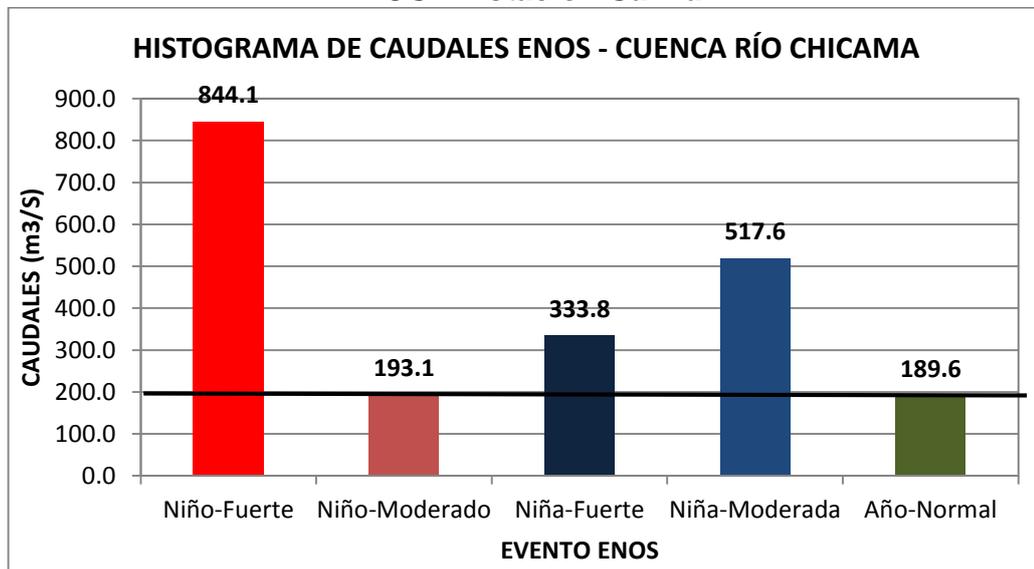
#### 4.6.3. Comportamiento de los caudales durante eventos ENOS

Analizado los caudales del río Chicama ante un evento ENOS se tiene los siguiente : la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte provoca un exceso hídrico de +345.2% sobre su valor normal, la presencia de un evento el niño de categoría moderado genera una anomalía hídrica de +1.8% con respecto al caudal normal, la anomalía hídrica ocasionada por el evento la niña de categoría fuerte es de +76.1%, sin embargo en un evento la niña de categoría moderada la anomalía hídrica es de +173.0% en relación a su valor normal. Los resultados presentados nos muestran que ante la ocurrencia de un evento ENOS en el área de estudio las anomalías de los caudales siempre serán positivas presentando un exceso de hídrico en referencia a su valor normal. Ver el gráfico N°23.0

Analizando los caudales de manera mensual se tiene lo siguiente: la ocurrencia de un evento el niño de categoría fuerte en este grupo homogéneo, ocasiona una gran anomalía positiva de los caudales en relación a su valor normal, haciéndose notar estas variaciones en los meses de Diciembre - Junio del año hidrológico. Sin embargo en un evento pluviométrico niño moderado las anomalías de los caudales mensuales estarán muy cercanas al valor normal encontrando anomalías positivas y negativas en los meses lluviosos. Por otro lado

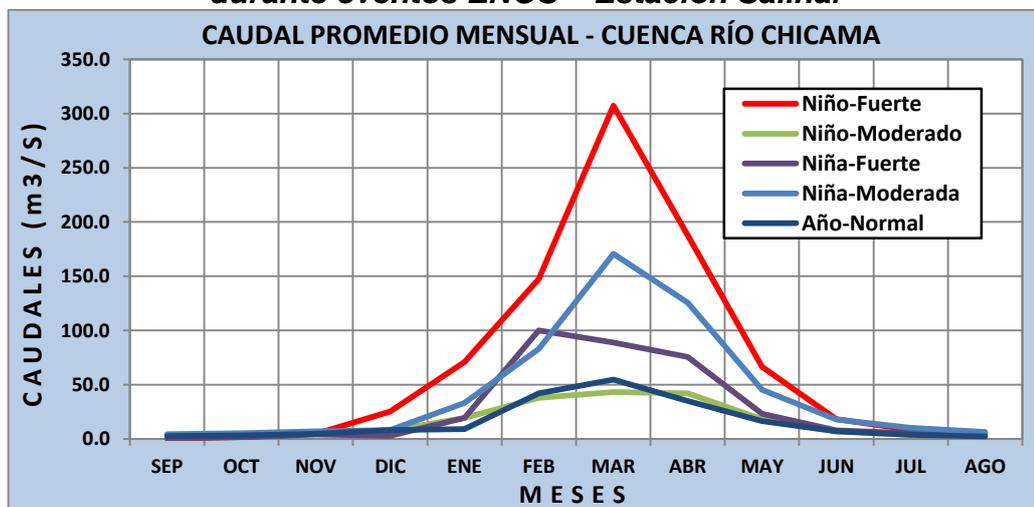
las anomalías hídricas para un evento niña fuerte se harán notar en los meses de Enero-Mayo, asimismo las anomalías hídricas para un evento niña moderada se harán notar en los meses de Noviembre – Agosto del año hidrológico con un exceso de precipitación considerable en referencia a su valor normal. Por último no se presenta variaciones muy significativas ante un evento niño de categoría moderado, pero si es notable el exceso de precipitación ante un evento niño de categoría fuerte y niña de categoría moderada. Ver Gráfico N°24.0

**Gráfico N°23.0 Comportamiento de los caudales durante eventos ENOS – Estación Salinar**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°24.0 Comportamiento de los caudales mensuales durante eventos ENOS – Estación Salinar**



Fuente: Elaboración Propia

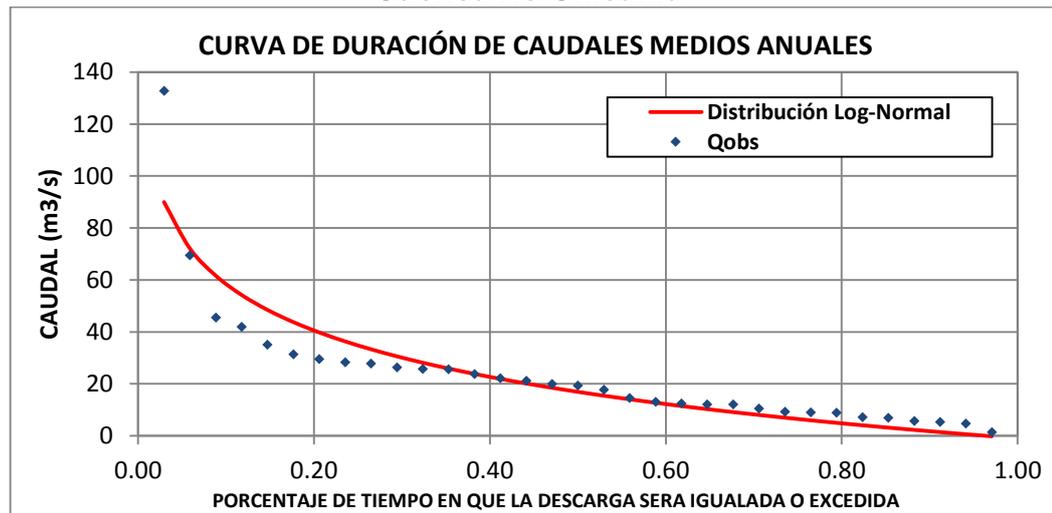
#### 4.6.4. Análisis de Persistencia de los caudales

El análisis de frecuencia de los caudales se realizó mediante la curva de duración o también llamada curva de persistencia en donde se indicó el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales serán igualados o excedidos. En este estudio se analizó los caudales medios mensuales y anuales tal como se muestra a continuación.

##### 4.6.4.1. Distribución de los caudales medios mensuales y anuales

En el presente estudio hemos evaluado la distribución de la serie de caudales comprendida entre 1977-2010 y hemos encontrado que la serie se ajusta mejor a una distribución de tipo Log-Normal. Tal como se muestra en la gráfico N°25.

**Gráfico N°25.0 Curva de duración de caudales medios anuales – Cuenca río Chicama**



Fuente: Elaboración Propia

Una vez construida la curva de duración se calculó los caudal de persistencia, por ejemplo el caudal de persistencia 50% significa que un caudal de 19.4 m<sup>3</sup>/s es igualado o excedido el 50% del tiempo. Los resultados para diferentes persistencias podemos observarlos en el cuadro N°24.

**Cuadro N°24 Caudales medios anuales para diferentes persistencias – Cuenca Río Chicama**

| Persistencia | Caudal medio anual (m3/s) |
|--------------|---------------------------|
| P - 25%      | 27.9                      |
| P - 50%      | 19.4                      |
| P - 75%      | 9.3                       |
| P - 80%      | 8.9                       |
| P - 90%      | 6.0                       |

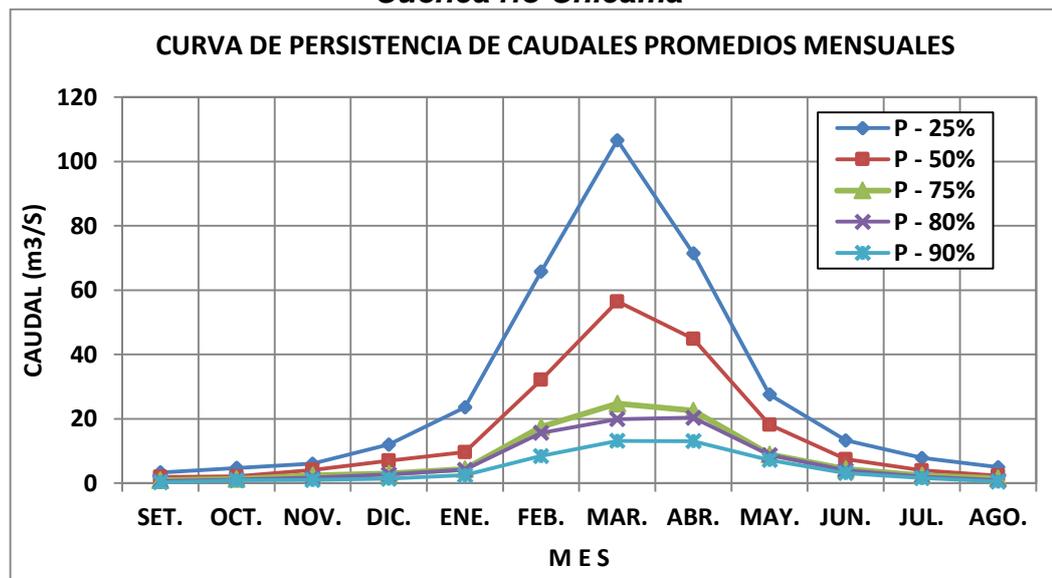
Fuente: Elaboración Propia

Al igual que para los caudales medios anuales se ha determinado los caudales al 25,50,75, 80 y 90% de persistencia para cada mes del año. Los resultados los podemos observar en el cuadro N°25 y gráfico N°26

**Cuadro N°25 Caudales medios mensuales para diferentes persistencias – Cuenca Río Chicama**

| PERSISTENCIA | PERSISTENCIA DE CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m3/s) |     |     |      |      |      |       |      |      |      |     |     |
|--------------|--|-----|-----|------|------|------|-------|------|------|------|-----|-----|
|              | SET  | OCT | NOV | DIC  | ENE  | FEB  | MAR   | ABR  | MAY  | JUN  | JUL | AGO |
| P - 25%      | 3.3  | 4.7 | 6.0 | 12.0 | 23.5 | 65.7 | 106.6 | 71.4 | 27.5 | 13.3 | 7.8 | 4.9 |
| P - 50%      | 1.9  | 2.1 | 4.1 | 7.0  | 9.6  | 32.1 | 56.5  | 44.9 | 18.1 | 7.4  | 4.0 | 2.3 |
| P - 75%      | 0.9  | 1.3 | 2.3 | 3.0  | 4.3  | 17.4 | 24.7  | 22.6 | 9.0  | 4.4  | 2.4 | 1.5 |
| P - 80%      | 0.6  | 1.1 | 1.6 | 2.7  | 4.2  | 15.6 | 19.9  | 20.3 | 8.7  | 4.0  | 2.0 | 0.9 |
| P - 90%      | 0.2  | 0.9 | 1.0 | 1.4  | 2.5  | 8.4  | 13.1  | 13.0 | 7.2  | 3.1  | 1.6 | 0.5 |

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°26.0 Persistencia de caudales medios mensuales – Cuenca río Chicama**

Fuente: Elaboración Propia

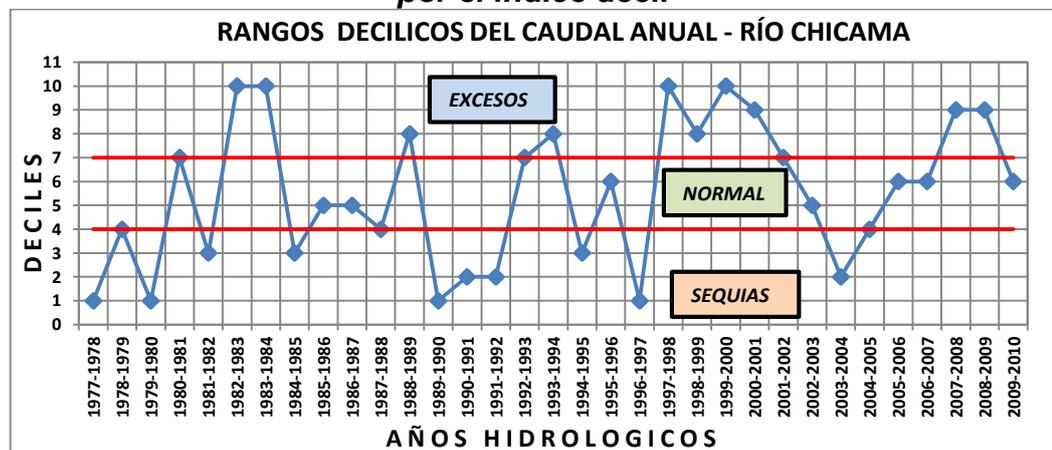
#### 4.6.5. Análisis de sequías y excesos hídricos en los caudales

El análisis de sequías y excesos hídricos en la zona de estudio fue realizado mediante el Método de deciles el cual está orientado principalmente al monitoreo de las sequías, sin embargo esta metodología también nos apoya para evaluar las condiciones de excedentes hídricos. Los resultados del análisis se describen a continuación:

Según nuestro registro histórico de caudales, el año hidrológico más seco fue 1979-1980, mientras que el año hidrológico más húmedo fue 1997-1998.

El periodo más crítico de la sequía tuvo una duración de 03 años, se inició el año 1989 y concluyó en 1992. Asimismo, el periodo más húmedo duró 4 años iniciando en 1997 y concluyendo en el 2001. En el gráfico N°27 se ilustra la evolución de los caudales caracterizado por el Índice decil.

**Gráfico N°27.0 Evolución de los caudales caracterizados por el índice decil**



Fuente: Elaboración Propia

Un análisis decadal de los caudales anuales en el área de estudio indica que durante la década de 1987 – 1997 se dio una mayor recurrencia de sequías, identificándose 5 años secos, como se indica en el cuadro N°26. Durante esta década se presentó 01 evento el niño de categoría fuerte (1991-1992), 04 eventos niño de categoría moderada (1987-1988; 1992-1993; 1993-1994 y 1995-1996) y 01

evento la niña de categoría fuerte (1988-1989). Por otro lado durante la década de 1997 – 2007 se dio el mayor número de eventos húmedos, identificándose 4 años. Durante esta década se presentó 01 Evento el niño de categoría fuerte (1997-1998), 01 evento el niño de categoría moderada (2002-2003) y 02 eventos la niña de categoría moderada (1999-2000 y 2000-2001).

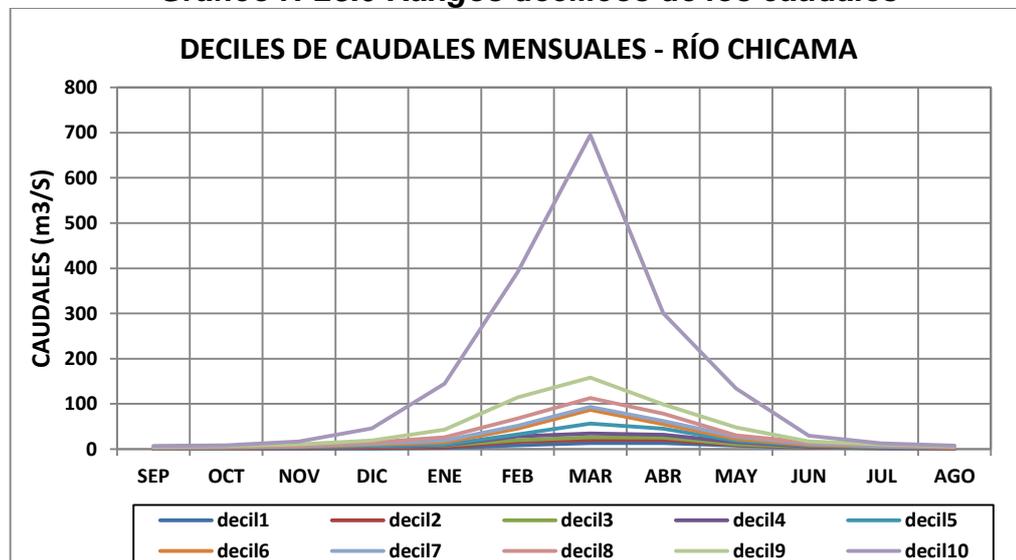
**Cuadro N°26 Eventos húmedos y secos por décadas**

| CATEGORÍA            | NÚMERO DE EVENTO POR DÉCADA |           |           | TOTAL DE EVENTOS |
|----------------------|-----------------------------|-----------|-----------|------------------|
|                      | 1977-1987                   | 1987-1997 | 1997-2007 |                  |
| <b>Años secos</b>    | 4                           | 5         | 1         | 10               |
| <b>Años normales</b> | 4                           | 3         | 5         | 12               |
| <b>Años húmedos</b>  | 2                           | 2         | 4         | 8                |

Fuente: Elaboración Propia

Los umbrales de los caudales mensuales caracterizados por la metodología de deciles en esta región, se representa en las curvas del gráfico N°28

**Gráfico N°28.0 Rangos decílicos de los caudales**



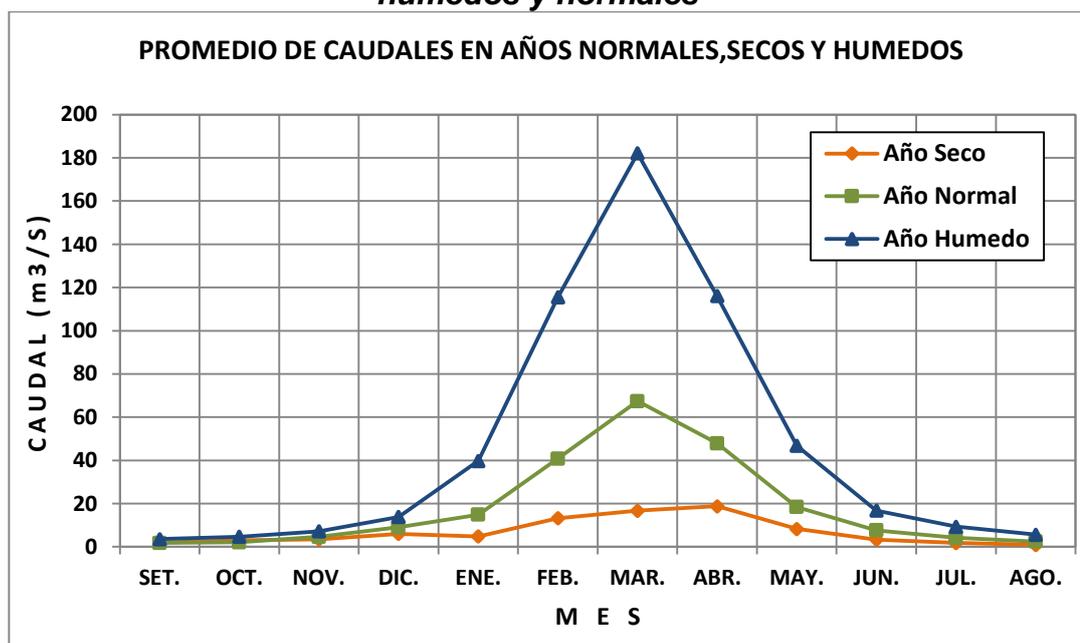
Fuente: Elaboración Propia

En base a estos umbrales se obtiene el comportamiento de los caudales en años normales, secos y húmedos, como se indica en el cuadro N° 27 y grafico N° 29.

**Cuadro N°27 comportamientos de los años secos, normales y húmedos**

| AÑO           | CAUDAL PROMEDIO EN AÑOS SECOS, NORMALES Y HUMEDOS (m <sup>3</sup> /s) |      |      |       |       |        |        |        |       |       |      |      | Anual |
|---------------|---|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|------|------|-------|
|               | SET.  | OCT. | NOV. | DIC.  | ENE.  | FEB.   | MAR.   | ABR.   | MAY.  | JUN.  | JUL. | AGO. |       |
| <b>SECO</b>   | 1.95  | 3.08 | 3.52 | 6.04  | 4.82  | 13.26  | 16.74  | 18.78  | 8.34  | 3.38  | 1.80 | 0.90 | 6.88  |
| <b>NORMAL</b> | 1.80  | 2.08 | 4.57 | 9.04  | 14.86 | 40.81  | 67.38  | 47.87  | 18.45 | 7.62  | 4.13 | 2.48 | 18.43 |
| <b>HUMEDO</b> | 3.60  | 4.66 | 7.17 | 13.82 | 39.75 | 115.52 | 182.08 | 116.08 | 46.80 | 16.79 | 9.36 | 5.64 | 46.77 |

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N°29.0 Caudales mensuales promedio en años secos, húmedos y normales**

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7. Caracterización hidroclimática de las subcuencas

La caracterización hidroclimáticas se realizó en las subcuencas Medio Bajo Chicama, Medio Chicama, Medio Alto Chicama, Santanero, Ochape, Quirripango, Chuquillanqui y alto Chicama. La caracterización hidrológica de estas subcuencas fue posible debido a que se generó información de descarga por el método de transposición de caudales, asimismo cada subcuenca en mención aporta parte del caudal medido en la estación de aforo Salinar. Sin embargo, en la subcuenca bajo Chicama solo fue posible realizar la caracterización climática debido a que esta subcuenca se ubica debajo de la estación de aforo el Salinar y a su vez no es aportante del caudal medido por la estación, siendo esto el motivo por el cual no se pudo generar información de descarga en la subcuenca por el método de transposición de caudales. A continuación

se describe por cada subcuenca la caracterización hidroclimática de cada una de ellas.

#### 4.7.1. Subcuenca Bajo Chicama

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 0 y 2848 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 191.4 mm, concentrándose el 95.4% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 12.9 ° C en Agosto y 26.8°C en Febrero. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Marzo con un valor de 103.2mm asimismo la mínima se muestra en Julio con un valor de 61.5mm

En el Cuadro N°28.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables climáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP) y precipitación (PP) de la subcuenca.

**Cuadro N° 28.0, Climatología de precipitación, temperatura y evapotranspiración en la Subcuenca Bajo Chicama**

| MES        | PP(mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) |
|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Enero      | 30.4   | 25.8      | 16.5      | 21.1      | 96.7      |
| Febrero    | 52.2   | 26.8      | 17.3      | 22.0      | 96.3      |
| Marzo      | 58.1   | 26.7      | 17.2      | 21.9      | 103.2     |
| Abril      | 23     | 25.5      | 16.0      | 20.7      | 86.4      |
| Mayo       | 5.2    | 24.1      | 14.0      | 19.1      | 72.7      |
| Junio      | 1.1    | 22.7      | 13.5      | 18.1      | 62.0      |
| Julio      | 0.6    | 22.5      | 13.1      | 17.8      | 61.5      |
| Agosto     | 0.7    | 22.7      | 12.9      | 17.8      | 62.0      |
| Septiembre | 1.4    | 22.9      | 13.1      | 18.0      | 62.2      |
| Octubre    | 5.1    | 23.3      | 13.6      | 18.4      | 69.3      |
| Noviembre  | 4.3    | 23.9      | 14.1      | 19.0      | 72.8      |
| Diciembre  | 9.4    | 24.6      | 15.4      | 20.0      | 85.7      |
| ANUAL      | 191.4  | 24.3      | 14.7      | 19.5      | 930.6     |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.2. Subcuenca Medio Bajo Chicama

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 331 y 1502 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 294.5 mm, concentrándose el 97.2% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 13.8 ° C en Agosto y 25.8°C en Marzo. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Marzo con un valor de 93.8mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 64.8mm.

El caudal promedio anual es de 0.8 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Febrero y Junio del año hidrológico los cuales varían entre 1m<sup>3</sup>/s a 1.6 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°29.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 29.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Medio Bajo Chicama**

| MES        | PP(mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP(mm) | Q (m3/s) |
|------------|--------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Enero      | 47.6   | 25.2      | 16.4      | 20.8      | 89.7     | 0.5      |
| Febrero    | 83.2   | 25.7      | 16.9      | 21.3      | 85.9     | 1.0      |
| Marzo      | 95     | 25.8      | 17.0      | 21.4      | 93.8     | 1.5      |
| Abril      | 35.3   | 25.2      | 16.1      | 20.7      | 82.4     | 1.5      |
| Mayo       | 6.4    | 24.5      | 14.7      | 19.6      | 74.4     | 1.6      |
| Junio      | 1.3    | 23.5      | 14.0      | 18.8      | 64.8     | 1.2      |
| Julio      | 0.3    | 23.4      | 13.8      | 18.6      | 65.7     | 0.4      |
| Agosto     | 0.4    | 23.8      | 13.8      | 18.8      | 67.9     | 0.3      |
| Septiembre | 0.8    | 24        | 14.1      | 19.0      | 68.1     | 0.6      |
| Octubre    | 5.5    | 24.2      | 14.5      | 19.4      | 74.7     | 0.3      |
| Noviembre  | 5.1    | 24.4      | 14.9      | 19.7      | 76.1     | 0.7      |
| Diciembre  | 13.6   | 24.7      | 15.7      | 20.2      | 84.7     | 0.5      |
| ANUAL      | 294.5  | 24.5      | 15.2      | 19.9      | 928.3    | 0.8      |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.3. Subcuenca Medio Chicama

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 369 y 2393 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 381.3 mm, concentrándose el 96.2% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 13.7 ° C en Julio y 25.0°C en Marzo. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Marzo con un

valor de 87.2mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 65.8mm.

El caudal promedio anual es de 1.5 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Febrero y Junio del año hidrológico los cuales varían entre 1.8m<sup>3</sup>/s a 3.3 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°30.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 30.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Medio Chicama**

| MES        | PP(mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) | Q (m3/s) |
|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Enero      | 61.4   | 24.6      | 15.9      | 20.2      | 84.5      | 0.8      |
| Febrero    | 103.7  | 24.7      | 16.3      | 20.5      | 79.0      | 2.1      |
| Marzo      | 118.8  | 25.0      | 16.4      | 20.7      | 87.2      | 3.0      |
| Abril      | 46.0   | 24.7      | 15.8      | 20.2      | 78.9      | 2.8      |
| Mayo       | 8.8    | 24.5      | 14.6      | 19.6      | 74.4      | 3.3      |
| Junio      | 1.9    | 23.8      | 13.9      | 18.9      | 65.8      | 1.8      |
| Julio      | 0.5    | 23.8      | 13.7      | 18.8      | 67.4      | 0.7      |
| Agosto     | 0.6    | 24.3      | 13.9      | 19.1      | 70.6      | 0.3      |
| Septiembre | 2.1    | 24.4      | 14.2      | 19.3      | 70.7      | 0.6      |
| Octubre    | 9.3    | 24.4      | 14.7      | 19.5      | 76.9      | 1.1      |
| Noviembre  | 8.4    | 24.5      | 14.9      | 19.7      | 77.0      | 1.0      |
| Diciembre  | 19.8   | 24.5      | 15.5      | 20.0      | 83.1      | 0.8      |
| ANUAL      | 381.3  | 24.4      | 15.0      | 19.7      | 915.4     | 1.5      |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.4. Subcuenca Medio Alto Chicama

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 529 y 4257 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 551.9 mm, concentrándose el 93.0% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 12.9 ° C en Julio y 24.5°C en Agosto. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Diciembre con un valor de 79.3mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 65.7mm.

El caudal promedio anual es de 1.8 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Febrero y Mayo del año hidrológico los cuales varían entre 2.7m<sup>3</sup>/s a 4.9 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°31.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 31.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Medio Alto Chicama**

| MES        | PP (mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) | Q (m3/s) |
|------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Enero      | 88.3    | 23.5      | 14.6      | 19.1      | 77.7      | 1.2      |
| Febrero    | 133.8   | 23.3      | 14.9      | 19.1      | 71.0      | 3.2      |
| Marzo      | 150.9   | 23.5      | 15.1      | 19.3      | 78.6      | 4.9      |
| Abril      | 66.3    | 23.6      | 14.7      | 19.1      | 73.3      | 3.7      |
| Mayo       | 15.2    | 24.1      | 13.8      | 18.9      | 72.8      | 2.7      |
| Junio      | 4.0     | 23.8      | 13.0      | 18.4      | 65.7      | 1.1      |
| Julio      | 1.7     | 23.9      | 12.9      | 18.4      | 67.8      | 0.9      |
| Agosto     | 1.8     | 24.5      | 13.1      | 18.8      | 71.8      | 0.3      |
| Septiembre | 7.4     | 24.4      | 13.6      | 19.0      | 71.8      | 0.9      |
| Octubre    | 23.6    | 24.2      | 13.9      | 19.1      | 76.5      | 0.4      |
| Noviembre  | 21.2    | 24.1      | 14.0      | 19.1      | 75.5      | 0.4      |
| Diciembre  | 37.7    | 23.7      | 14.5      | 19.1      | 79.3      | 1.3      |
| ANUAL      | 551.9   | 23.9      | 14.0      | 19.0      | 881.7     | 1.8      |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.5. Subcuenca Santanero

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 371 y 3694 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 358.9 mm, concentrándose el 96.1% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 14.4 ° C en Julio y 25.5°C en Marzo. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Marzo con un valor de 89.4mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 67.2mm.

El caudal promedio anual es de 6.8 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Febrero y Junio del año hidrológico los cuales varían entre 7.9m<sup>3</sup>/s a 13.9 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°32.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 32.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Santanero**

| MES        | PP (mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) | Q (m3/s) |
|------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Enero      | 55.7    | 25.1      | 16.7      | 20.9      | 86.6      | 4.6      |
| Febrero    | 97.4    | 25.2      | 17.0      | 21.1      | 80.7      | 9.5      |
| Marzo      | 114.9   | 25.5      | 17.1      | 21.3      | 89.4      | 13.1     |
| Abril      | 43.8    | 25.3      | 16.6      | 21.0      | 81.5      | 13.9     |
| Mayo       | 8.1     | 25.1      | 15.4      | 20.2      | 76.3      | 12.8     |
| Junio      | 2.0     | 24.3      | 14.6      | 19.5      | 67.2      | 7.9      |
| Julio      | 0.5     | 24.2      | 14.4      | 19.3      | 68.5      | 3.2      |
| Agosto     | 0.8     | 24.7      | 14.6      | 19.6      | 71.8      | 2.6      |
| Septiembre | 2.6     | 24.8      | 14.9      | 19.9      | 72.4      | 1.8      |
| Octubre    | 8.0     | 24.9      | 15.4      | 20.2      | 78.8      | 3.3      |
| Noviembre  | 7.1     | 25.0      | 15.7      | 20.4      | 79.2      | 4.2      |
| Diciembre  | 17.8    | 25.1      | 16.2      | 20.6      | 85.2      | 4.5      |
| ANUAL      | 358.9   | 24.9      | 15.7      | 20.3      | 937.8     | 6.8      |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.6. Subcuenca Ochape

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 526 y 4286 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 512.8 mm, concentrándose el 93.6% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 13.6 ° C en Julio y 25.4°C en Agosto. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Diciembre con un valor de 82.7mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 68.4mm.

El caudal promedio anual es de 1.5 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Diciembre y Junio del año hidrológico los cuales varían entre 1.0m<sup>3</sup>/s a 3.9 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°33.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 33.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Ochape**

| MES        | PP (mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) | Q (m3/s) |
|------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Enero      | 80.5    | 24.3      | 15.4      | 19.9      | 80.6      | 1.0      |
| Febrero    | 125.9   | 24.0      | 15.7      | 19.9      | 73.0      | 2.7      |
| Marzo      | 145.2   | 24.3      | 15.9      | 20.1      | 81.1      | 3.9      |
| Abril      | 62.5    | 24.4      | 15.5      | 20.0      | 76.4      | 3.1      |
| Mayo       | 13.6    | 24.9      | 14.6      | 19.8      | 75.7      | 2.2      |
| Junio      | 3.5     | 24.7      | 13.8      | 19.2      | 68.4      | 1.4      |
| Julio      | 1.4     | 24.8      | 13.6      | 19.2      | 70.4      | 0.6      |
| Agosto     | 1.5     | 25.4      | 13.9      | 19.6      | 74.7      | 0.4      |
| Septiembre | 6.6     | 25.3      | 14.4      | 19.8      | 75.2      | 0.4      |
| Octubre    | 20.0    | 25.1      | 14.8      | 19.9      | 80.3      | 0.3      |
| Noviembre  | 18.0    | 25.0      | 14.9      | 19.9      | 79.4      | 0.4      |
| Diciembre  | 34.0    | 24.6      | 15.2      | 19.9      | 82.7      | 2.0      |
| ANUAL      | 512.8   | 24.7      | 14.8      | 19.8      | 917.9     | 1.5      |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.7. Subcuenca Quirripango

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 335 y 4271 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 371.1 mm, concentrándose el 95.8% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 12.4 ° C en Julio y 24.3°C en Marzo. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Marzo con un valor de 85.6mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 62.7mm.

El caudal promedio anual es de 3.8 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Febrero y Junio del año hidrológico los cuales varían entre 4.7m<sup>3</sup>/s a 7.9 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°34.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 34.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Quirripano**

| MES        | PP (mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) | Q (m3/s) |
|------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Enero      | 59.8    | 23.8      | 14.6      | 19.2      | 82.3      | 2.1      |
| Febrero    | 100.1   | 24.2      | 15.1      | 19.6      | 78.0      | 5.3      |
| Marzo      | 112.9   | 24.3      | 15.2      | 19.7      | 85.6      | 7.9      |
| Abril      | 44.5    | 23.7      | 14.5      | 19.1      | 75.9      | 6.9      |
| Mayo       | 9.2     | 23.6      | 13.1      | 18.4      | 71.0      | 4.7      |
| Junio      | 1.9     | 22.8      | 12.5      | 17.7      | 62.7      | 6.3      |
| Julio      | 0.4     | 22.8      | 12.4      | 17.6      | 64.4      | 1.8      |
| Agosto     | 0.8     | 23.3      | 12.5      | 17.9      | 67.1      | 1.9      |
| Septiembre | 2.1     | 23.3      | 12.8      | 18.1      | 67.1      | 2.9      |
| Octubre    | 10.5    | 23.4      | 13.3      | 18.4      | 73.2      | 1.2      |
| Noviembre  | 9.2     | 23.5      | 13.5      | 18.5      | 73.5      | 2.3      |
| Diciembre  | 19.6    | 23.5      | 14.3      | 18.9      | 80.2      | 2.1      |
| ANUAL      | 371.1   | 23.5      | 13.7      | 18.6      | 881.1     | 3.8      |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.8. Subcuenca Chuquillanqui

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 693 y 4263 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 796.2 mm, concentrándose el 89.1% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 11.2 ° C en Julio y 23.9°C en Agosto. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Diciembre con un valor de 71.0 mm asimismo la mínima se muestra en Febrero con un valor de 61.6mm.

El caudal promedio anual es de 3.9 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Febrero y Abril del año hidrológico los cuales varían entre 9.4m<sup>3</sup>/s a 15.2 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°35.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 35.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Chuquillanqui**

| MES        | PP(mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) | Q (m3/s) |
|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Enero      | 122.7  | 21.8      | 12.7      | 17.3      | 68.3      | 3.1      |
| Febrero    | 165.6  | 21.5      | 13.0      | 17.2      | 61.6      | 9.6      |
| Marzo      | 183.9  | 21.6      | 13.2      | 17.4      | 68.1      | 15.2     |
| Abril      | 92.7   | 21.9      | 12.8      | 17.4      | 64.7      | 9.4      |
| Mayo       | 25.1   | 22.9      | 12.2      | 17.6      | 67.1      | 3.9      |
| Junio      | 7.9    | 23.0      | 11.4      | 17.2      | 61.7      | 1.9      |
| Julio      | 3.9    | 23.2      | 11.2      | 17.2      | 64.3      | 0.9      |
| Agosto     | 4.2    | 23.9      | 11.6      | 17.7      | 68.3      | 0.8      |
| Septiembre | 18.6   | 23.6      | 12.1      | 17.9      | 67.8      | 0.4      |
| Octubre    | 52.4   | 23.1      | 12.4      | 17.7      | 70.8      | 0.4      |
| Noviembre  | 48.3   | 22.8      | 12.3      | 17.5      | 68.6      | 0.6      |
| Diciembre  | 70.9   | 22.2      | 12.7      | 17.5      | 71.0      | 1.2      |
| ANUAL      | 796.2  | 22.6      | 12.3      | 17.5      | 802.2     | 3.9      |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.7.9. Subcuenca Alto Chicama

Los niveles altitudinales de esta subcuenca está comprendido entre 694 y 4255 msnm. La precipitación promedio anual alcanza los 604 mm, concentrándose el 88.7% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico.

La precipitación máxima se alcanza en Marzo. Las temperaturas extremas varían entre 11.7 ° C en Julio y 24.5°C en Agosto. La evapotranspiración máxima se presenta en el mes de Diciembre con un valor de 78.6 mm asimismo la mínima se muestra en Junio con un valor de 64.0mm.

El caudal promedio anual es de 6.5 m<sup>3</sup>/s, los mayores caudales se presentan entre Febrero y Abril del año hidrológico los cuales varían entre 16.3m<sup>3</sup>/s a 25.5 m<sup>3</sup>/s.

En el Cuadro N°36.0 se presenta el comportamiento mensual y anual de las variables hidroclimáticas de temperatura (T), evapotranspiración (EVAP), precipitación (PP) y caudal (Q) de la subcuenca.

**Cuadro N° 36.0, Variables hidroclimáticas en la Subcuenca Alto Chicama**

| MES        | PP (mm) | Tmax (°C) | Tmin (°C) | Tmed (°C) | EVAP (mm) | Q (m3/s) |
|------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Enero      | 88.0    | 23.4      | 13.5      | 18.5      | 75.4      | 5.5      |
| Febrero    | 125.2   | 23.2      | 13.7      | 18.4      | 67.8      | 16.7     |
| Marzo      | 138.9   | 23.1      | 13.9      | 18.5      | 74.6      | 25.5     |
| Abril      | 72.4    | 23.3      | 13.5      | 18.4      | 69.9      | 16.3     |
| Mayo       | 20.5    | 24.1      | 12.7      | 18.4      | 71.6      | 6.5      |
| Junio      | 6.0     | 23.8      | 11.8      | 17.8      | 64.0      | 2.0      |
| Julio      | 2.8     | 24        | 11.7      | 17.9      | 67.2      | 0.9      |
| Agosto     | 3.8     | 24.5      | 12.1      | 18.3      | 70.9      | 0.5      |
| Septiembre | 15.2    | 24.4      | 12.5      | 18.4      | 70.4      | 0.4      |
| Octubre    | 40.4    | 24.2      | 12.9      | 18.6      | 75.5      | 0.6      |
| Noviembre  | 36.1    | 23.9      | 12.9      | 18.4      | 73.3      | 1.1      |
| Diciembre  | 54.7    | 23.8      | 13.6      | 18.7      | 78.6      | 2.0      |
| ANUAL      | 604.0   | 23.8      | 12.9      | 18.4      | 859.2     | 6.5      |

Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- El área de la cuenca del río Chicama es de 4517.7 Km<sup>2</sup> la cual se divide en 9 subcuencas siendo la de menor área la subcuenca medio alto Chicama (51.9 Km<sup>2</sup>) y la de mayor área la subcuenca Alto Chicama (1186.8 Km<sup>2</sup>). Asimismo, el coeficiente de compacidad de la cuenca es de 1.8 y de las subcuencas varía entre 1.3 y 1.6 los cual nos dice que la cuenca y las subcuencas son irregulares y de forma alargada. Sin embargo, el factor de forma de la cuenca es de 0.34 y de las subcuencas varía entre 0.20 y 0.57 lo cual nos indica que las cuenca y subcuencas poseen un rio principal largo y por ende con poca tendencia concentrar el escurrimiento superficial. La densidad de drenaje de la cuenca es de 0.6 y de la subcuencas oscila entre 0.5 a 0.8, indicándonos que estas áreas poseen un drenaje pobre. La elevación media de la cuenca es de 1848.6 m.s.n.m, y de la subcuencas fluctúa entre 604.5 m.s.n.m (subcuenca bajo Chicama) a 2616.2 m.s.n.m (Subcuenca alto Chicama). En la cuenca la pendiente es 41.4% y en las subcuencas varía entre 25% a 59.2%. Con respecto a la pendiente del cauce principal, la cuenca posee un río con una pendiente de 1.1% si embargo en la subcuencas este valor oscila entre 0.6% a 8.5%. por último los tiempos de concentración en las subcuencas fluctúan entre 1.7 a 10 horas que corresponden a las subcuencas con menor (Medio Bajo Chicama) y mayor (Bajo Chicama) tiempo de concentración.
- Inicialmente en el área de estudio se identificó 4 grupos homogéneos utilizando el método de clusters o conglomerados. Sin embargo, este agrupamiento fue ajustado utilizando la metodología del vector regional, obteniendo finalmente 3 grupos o regiones homogéneas. Asimismo, se

identificó el área de influencia de cada grupo homogéneo, siendo el 36% del área de estudio ocupada por la región homogénea I, el 46.5% ocupada por la región homogénea II y el 17.5% ocupada por la región homogénea III.

- En la región pluviométrica I, la precipitación promedio anual alcanza los 699.7mm concentrándose el 83% de la lluvia entre los meses de Diciembre - Mayo del año hidrológico, las precipitaciones máximas se alcanzan en Marzo, las temperaturas extremas varían entre 11.4 ° C en Julio y 24.7°C en Agosto. La evapotranspiración máxima es de 73.4mm (Agosto) y la mínima es de 63.9mm (Febrero).
- En la región pluviométrica II, la precipitación promedio anual alcanza los 784.2mm concentrándose el 93% de la lluvia entre los meses de Octubre - Mayo del año hidrológico, las precipitaciones máximas se alcanzan en Marzo, las temperaturas extremas varían entre 7.4 ° C en Julio y 21.8°C en Agosto. La evapotranspiración máxima es de 66.9mm (Diciembre) y la mínima es de 54.2mm (Junio).
- En la región pluviométrica III, la precipitación promedio anual alcanza los 97.7mm concentrándose el 93% de la lluvia entre los meses de Noviembre - Mayo del año hidrológico, las precipitaciones máximas se alcanzan en Marzo, las temperaturas extremas varían entre 14.4 ° C en Agosto y 31°C en Febrero. La evapotranspiración máxima es de 11.5mm (Marzo) y la mínima es de 60.1mm (Agosto).
- En las 3 regiones pluviométricas encontradas, la ocurrencia de un evento ENOS de categoría Niño Fuerte y Niña Moderada genera anomalías precipitaciones muy por encima de su valor normal, encontrando estas para un Niño Fuerte en el rango de

+40.9% a +904% y para una Niña moderada en el rango de +31.4% a +92.9%. Por otro lado, en un evento ENOS de categoría Niño Moderado y Niña fuerte las anomalías de las precipitación se encuentran cercanas a su valor normal, encontrando estas para un Niño Moderado en el rango de +1.3% a +14.8% y para una Niña Fuerte en el rango de +3.9% a +12.7%.

- Para el periodo pluviométrico comprendido entre lo año hidrológico 1966-1967 a 2011-2012, la precipitación anual presenta una tendencia significativa (+S) en las regiones homogéneas I y II con una significancia de 99% y 95% respectivamente. Respecto al análisis de las estaciones climáticas, en las regiones homogéneas I y II se observa una tendencia positiva en las estaciones DEF Y MAM las cuales pertenecen a los periodos lluviosos de la zona de estudio. Por otro lado, en la estación climática DEF las regiones homogéneas I y II presentaron una tendencia significancia (+S) de 95% y 90% respectivamente, asimismo para la estación climática MAM la tendencia positiva en la región homogénea I y II se presentó con una significancia de 99% y 90% respectivamente. Por último, la región homogénea II en la estación climática JJA (periodo poco lluvioso) presenta una tendencia negativa con una significancia de 95%.
- En relación a los mapas anuales de precipitación, temperatura y evapotranspiración, se tiene lo siguiente: la región pluviométrica I presenta una precipitación que oscila entre 74mm y 1112mm, la temperatura máxima varía entre 18.5°C y 28.9°C, la temperatura mínima fluctúa entre 8.4°C y 18.2°C, la temperatura media oscila entre 13.5°C y 23.6°C y la evapotranspiración varía entre 642.1mm y 1075.2mm. Asimismo, en la región pluviométrica II, la precipitación oscila entre 337mm y 1718mm, la temperatura máxima varía entre

14.4°C y 28.9°C, la temperatura mínima fluctúa entre 3.0°C y 18.2°C, la temperatura media oscila entre 8.9°C y 23.6°C y la evapotranspiración varía entre 457.2mm y 1074.3mm. Por otro lado, en la región pluviométrica III, la precipitación oscila entre 0mm y 337mm, la temperatura máxima varía entre 22.0°C y 27.4°C, la temperatura mínima fluctúa entre 12.4°C y 18.1°C, la temperatura media oscila entre 17.2°C y 22.7°C y la evapotranspiración varía entre 834.7mm y 1053.9mm.

- Para periodo comprendido entre los años hidrológicos 1977-1978 a 2009-2010, se encontró que los caudales anuales no presenta una tendencia significativa en su serie. Por otro lado, examinando la serie de forma anual y mensual encontramos que los caudales no se ajustan a una distribución normal, asimismo a medida que nos acercamos a los periodos lluviosos la dispersión de la muestra aumenta encontrando  $CV \geq 1$ , estos valores son debido a que en eventos el niño de categoría fuerte los caudales aumentaron significativamente generando una alta dispersión en la muestra.
- En un evento ENOS de categoría Niño Fuerte y Niña moderada generan anomalías de caudales muy por encima de su valor normal, encontrando para un Niño Fuerte una anomalía de +345.2% y para una Niña moderada una anomalías de +173.0%. Asimismo, en un evento ENOS de categoría Niño Moderado se genera una anomalía de caudales muy cercana a su valor normal el cual tiene un valor +1.8%, sin embargo en una Niña Fuerte la anomalía de caudales es +76.1%.
- La persistencia de los caudales anuales del río Chicama a 25%, 50%, 75%, 80% y 90% son de 27.9m<sup>3</sup>/s, 19.4m<sup>3</sup>/s, 9.3m<sup>3</sup>/s, 8.9m<sup>3</sup>/s y 6.0m<sup>3</sup>/s respectivamente.

- El año hidrológico más seco fue 1979-1980, mientras que el año hidrológico más húmedo fue 1997-1998. El periodo más crítico de la sequía tuvo una duración de 03 años, se inició el año 1989 y concluyó en 1992. Asimismo, el periodo más húmedo duro 4 años iniciando en 1997 y concluyendo en el 2001.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar una red de estaciones hidrometeorológicas más densa en la cuenca del río Chicama de estudio con el fin de llevar una mejor vigilancia de los eventos hidrometeorológicos.
- Los modelos geospaciales de precipitación, temperatura y evapotranspiración deberán servir de base para generar series temporales de precipitación, temperatura y evapotranspiración en mallas o cuadrículas.
- Se debe validar la información de caudales generada en cada subcuenca, mediante la implementación de estaciones hidrológicas (mediante la instalación de un mayor número de estaciones hidrológicas y la comparaciones de estos resultados con cuencas regionalmente homogéneas como chancay-Lambayeque y Jequetepeque)
- La información de los parámetros geomorfológicos deben ser utilizados como apoyo la regionalización de cuencas con comportamiento hidrológico homogéneo.
- Se recomienda utilizar este estudio como base para la evaluación y gestión de los recursos hídricos.

## CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- 1) **ALIAGA ARAUJO**, Segundo (1983). Tratamiento de datos hidrometeorológicos, Lima, Pag.14-65.
- 2) **ALVARADO VALENCIA**, Et Ál (2008). Fundamento de Inferencia Estadística, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Abril del 2008, Pag 24,43 y 111.
- 3) **ESPINOZA**, Et Ál (2006). “Hidrología y geodinámica de la cuenca amazónica. Aplicación del método del vector regional de índices pluviométrico (MVR) con hidraccess”, HIBAM, Perú.
- 4) **GARCÍA PRATS**, Alberto (2006). Sequía teoría y prácticas, España, Editorial de la UPV, pág. 60-61
- 5) **GERMÁN MONSALVE**, Sáenz (1999). Hidrología en ingeniería, Colombia, Editorial Escuela Colombia de ingeniería, Pag.37-53
- 6) **IBARRA CASTILLO**, Et Ál (2009). “Distribución Espacial del pH de los Suelos Agrícolas de Zapopan, Jalisco, México”, Agricultura técnica en México, núm. 03, México, pág. 267-276.
- 7) **LAVADO CASIMIRO**, Et Ál (2009). “Impacto de ENOS en la Hidrología del Perú (1968-2006)”, Revista Peruana Geo-Atmosférica, núm. 01, SENAMHI, Lima, pág. 48-57.
- 8) **NAOUM,S & TSANIS,K** (2004), “A multiple linear regression GIS module using spatial variables to model orographic rainfall”, Journal of Hydroinformatics, num.06, Department of Civil Engineering-McMaster University, Canada, page. 39-56.

- 9) **MARTÍN FERNÁNDEZ**, Et Ál (2001). Guía completa de Statgraphics, España, Ediciones Díaz de santos, pág. 357-360.
- 10) **MÁXIMO VILLÓN**, Béjar (2002). Hidrología Estadística, Perú, Editorial Villón, pág.91-112.
- 11) **NUÑEZ SOLÍS**, Jorge (2001). Manejo y conservación de suelos, Costa Rica, Editorial Universidad Estatal a Distancia San José, pág.57.
- 12) **LOPEZ**, Et Ál (2000). “Caracterización de los caudales de diseño del río Arga a su paso por pamplona – España”, Información tecnológica, num.11, Chile, pág. 15-20
- 13) **VERA ARÉVALO**, Hector (2004). Balance hídrico superficial cuenca del río Chicama, Perú, Informe técnico –SENAMHI, Diciembre 2005, Pág. 70.