

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DISEÑO ÓPTIMO DE LA RED PLUVIOMÉTRICA EN LA CUENCA
DEL RÍO LOCUMBA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

JAMES RICHARD MILLÁN ARANCIBIA

LIMA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“DISEÑO ÓPTIMO DE LA RED PLUVIOMÉTRICA EN LA CUENCA DEL
RÍO LOCUMBA”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. JAMES RICHARD MILLÁN ARANCIBIA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. TORIBIO SEBASTIÁN SANTAYANA VELA
Presidente

Mg. Sc. CAYO LEONIDAS RAMOS TAIPE
Asesor

Ing. FRANKLIN DELIO UNSIHUAY TOVAR
Miembro

Dra. LÍA RAMOS FERNÁNDEZ
Miembro

LIMA – PERU

2020

DEDICATORIA

A Dios.

AGRADECIMIENTO

A Dios en primer lugar.

A mi madre Olga Arancibia y hermanos Carlos, Franz y Jaime, por su apoyo en cada momento de mi vida. A mis tíos Javier y Jesús por su apoyo material y emocional.

A mi asesor Cayo Ramos, por su aporte académico y profesional. A la empresa OFITECO, en especial al Ing. José Luis Lorenzo, por su guía en el desarrollo de la investigación.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de la carrera.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVO PRINCIPAL	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
II REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 METEOROLOGÍA	3
2.2 CLIMATOLOGÍA	3
2.3 PRECIPITACIÓN.....	3
2.4 ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA	5
2.4.1 Estaciones climatológicas principal.....	5
2.4.2 Estaciones climatológicas ordinaria	5
2.4.3 Estaciones meteorológicas de propósitos específicos	5
2.4.4 Estación meteorológica agrícola principal	6

2.4.5	Estaciones pluviométricas	6
2.5	RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	6
2.6	CORRELACIÓN ESTADÍSTICA.....	7
2.6.1	Tipos de correlación	8
2.6.2	Diagrama de dispersión	8
2.7	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	8
2.7.1	Regionalización	9
2.7.2	Pruebas de doble masa.....	11
2.7.3	Análisis estadístico	13
2.8	Método de polígonos de Thiessen.....	14
2.9	SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA Y DISEÑO DE RED.....	15
2.9.1	Análisis de red	17
2.10	MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES DE ESTACIONES	19
2.10.1	Método de Kagan.....	19
2.10.2	Método de Karasiov.....	20
2.11	ANTECEDENTES.....	22
III	MATERIALES Y METODOS	27
3.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	27
3.2	MATERIALES	28
3.2.1	Datos de precipitación	28
3.2.2	Regionalización	28
3.2.3	Análisis de doble masa	29
3.2.4	Extensión y completación de datos	31
3.3	METODOLOGÍA	31
3.3.1	Caracterización de la cuenca Locumba	32

3.3.2	Evaluación de la red existente	32
3.3.3	Optimización de la red.....	34
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA LOCUMBA.....	36
4.1.1	Caracterización de la cuenca	36
4.1.2	Condiciones climáticas	41
4.1.3	Análisis de distribución espacial y temporal de la precipitación.....	42
4.2	EVALUACIÓN DE LA RED EXISTENTE	46
4.2.1	Estaciones existentes	46
4.2.2	Tipo de estaciones	49
4.2.3	Análisis espacial de la red pluviométrica	50
4.3	ANÁLISIS DE CONSISTENCIA	56
4.3.1	Análisis gráfico.....	56
4.3.2	Regionalización	57
4.3.3	Análisis de doble masa	61
4.3.4	Análisis estadístico	67
4.4	OPTIMIZACIÓN DE LA RED	68
4.4.1	Cálculo de errores.....	70
V	CONCLUSIONES	72
VI	RECOMENDACIONES.....	73
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
VIII	ANEXOS	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de estaciones hidrométricas en Latinoamérica.....	23
Tabla 2: Densidad de estaciones meteorológicas en Latinoamérica, México y España.....	24
Tabla 3: Métodos de optimización hidrológica	26
Tabla 4: Ubicación hidrográfica.....	27
Tabla 5: Estaciones pluviométricas dentro y fuera de la cuenca Locumba.....	29
Tabla 6: Ficha utilizada en el inventario de estaciones meteorológicas.....	33
Tabla 7: Rango de altitudes	36
Tabla 8: Rango de pendientes.....	39
Tabla 9: Cobertura vegetal en el área de estudio.....	41
Tabla 10: Distribución mensual de la precipitación	45
Tabla 11: Evaluación de estaciones inventariadas	47
Tabla 12: Número de estaciones por tipo, categoría e institución.....	50
Tabla 13: Densidad mínima de estaciones pluviométricas.....	52
Tabla 14: Estaciones meteorológicas por subcuenca	54
Tabla 15: Número de pluviómetros por rango altitudinal	55
Tabla 16: Salidas del proceso de regionalización mediante el método del Vector Regional dentro del programa Hydraces.....	58
Tabla 17: Precipitación acumulada del primer grupo.....	62

Tabla 18: Precipitación acumulada del segundo grupo	65
Tabla 19: Análisis estadístico de estaciones	67
Tabla 20: Estaciones dentro de la cuenca Locumba	68
Tabla 21: Coeficientes de correlación de precipitación mensual entre las estaciones de la cuenca Locumba	68
Tabla 22: Variables para la función de correlación de Kagan	69
Tabla 23: Errores obtenidos por el método de Kagan	70
Tabla 24 Precipitación Estación Cairani	77
Tabla 25 Precipitación Estación Candarave	78
Tabla 26 Precipitación Estación Toquepala	79
Tabla 27 Precipitación Estación Quebrada Honda	81
Tabla 28 Precipitación Estación Tacalaya	82
Tabla 29 Precipitación Estación Suches	83
Tabla 30 Precipitación Estación Cairani	84
Tabla 31 Estaciones inventariadas.....	86
Tabla 32 Pruebas Estadísticas de T-Student y F-Fisher	118
Tabla 33 Correlación Cairani	124
Tabla 34 Correlación Candarave	124
Tabla 35 Correlación Toquepala	125
Tabla 36 Correlación Quebrada Honda	126
Tabla 37 Correlación Tacalaya.....	126
Tabla 38 Correlación Suches	127

Tabla 39 Correlación Vizcachas.....	128
-------------------------------------	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formación de las gotas de agua en una nube	4
Figura 2: Imágenes de los diferentes tipos de estaciones hidrometeorológicas	6
Figura 3: Mapa de red de estaciones meteorológicas del SAIH Andalucía, España.....	7
Figura 4: Diagrama de dispersión.....	8
Figura 5: Ejemplo de polígonos de Thiessen.....	14
Figura 6: Componentes de un Sistema de Información Hidrológica.....	15
Figura 7: Elementos básicos del diseño de redes	16
Figura 8: Esquema del análisis de una red	18
Figura 9: Número de estaciones hidrométricas en Latinoamérica	23
Figura 10: Número de estaciones meteorológicas en Latinoamérica, México y España	24
Figura 11: Ubicación de la cuenca Locumba	28
Figura 12: Mapa de estaciones meteorológicas	30
Figura 13: Metodología aplicada.....	31
Figura 14: Ubicación y área de influencia de estaciones actuales.....	35
Figura 15: DEM de la cuenca Locumba.....	37
Figura 16: Geomorfología cuenca Locumba	38
Figura 17: Mapa de pendientes.....	39

Figura 18: Mapa de cobertura de vegetal	40
Figura 19: Variación de temperatura media en relación a la altitud.....	41
Figura 20: Mapa de isoyetas	42
Figura 21: Relación precipitación-altitud	43
Figura 22: Distribución temporal de la precipitación – año hidrológico.....	44
Figura 23: Estaciones según la institución que las administra	46
Figura 24: Estaciones meteorológicas por tipo y categoría	50
Figura 25: Distribución de estaciones pluviométricas cuenca Locumba	51
Figura 26: Mapa de densidad de pluviómetros con polígonos de Thiessen	53
Figura 27: Distribución porcentual de estaciones meteorológicas y áreas por subcuencas	54
Figura 28: Distribución altitudinal de las estaciones.....	56
Figura 29: Histograma de precipitación de la estación Vilacota	57
Figura 30: Índices anuales y acumulados del vector regional – parte baja de la cuenca.....	59
Figura 31: Índices anuales y acumulados del vector regional – parte media de la cuenca .	60
Figura 32: Índices anuales y acumulados del vector regional – parte alta de la cuenca	61
Figura 33: Diagramas de doble masa – primer grupo	64
Figura 34: Diagramas de doble masa – segundo grupo. (Qda Honda y Susapaya).....	66
Figura 35: Diagramas de doble masa – segundo grupo. (Cairani y Candarave)	66
Figura 36: Diagramas de doble masa – segundo grupo. (Sitajara y Toquepala).....	67
Figura 37: Ajuste a curva exponencial	69
Figura 38: Curva de errores por número de estaciones	70

Figura 39: Red pluviométrica optimizada de la cuenca Locumba	71
Figura 40: Histograma de precipitación de la estación Suches	106
Figura 41: Histograma de precipitación de la estación Tacalaya	107
Figura 42: Histograma de precipitación de la estación Vilacota.....	108
Figura 43: Histograma de precipitación de la estación Chuapalca.....	109
Figura 44: Histograma de precipitación de la estación Challapalca.....	110
Figura 45: Histograma de precipitación de la estación Vizcachas	111
Figura 46: Histograma de precipitación de la estación Quebrada Honda	112
Figura 47: Histograma de precipitación de la estación Cairani.....	113
Figura 48: Histograma de precipitación de la estación Candarave	114
Figura 49: Histograma de precipitación de la estación Toquepala.....	115
Figura 50: Histograma de precipitación de la estación Susapaya	116
Figura 51: Histograma de precipitación de la estación Sitajara	117
Figura 52 Correlación Cairani	124
Figura 53 Correlación Candarave.....	125
Figura 54 Correlación Toquepala.....	125
Figura 55 Correlación Quebrada Honda.....	126
Figura 56 Correlación Tacalaya	127
Figura 57 Correlación Suches.....	127
Figura 58 Correlación Vizcachas	128

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: DATOS DE PRECIPITACIÓN COMPLETADA	77
ANEXO 2: REGISTRO DE ESTACIONES INVENTARIADAS	86
ANEXO 3: FICHAS DE INVENTARIO DE ESTACIONES	88
ANEXO 4: HISTOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN	106
ANEXO 5: PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL	118
ANEXO 6: CORRELACIÓN ENTRE ESTACIONES	124

RESUMEN

La presente tesis buscó obtener la optimización de una red pluviométrica en la cuenca Locumba – Tacna – Perú, para lo cual se ha planteado una metodología basada en la guía de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En primer lugar, se realizó un análisis geomorfológico y climático de la cuenca; luego se realizó una evaluación de la red existente visitando en campo todas las estaciones meteorológicas dentro de la cuenca para conocer sus estados y ubicaciones. También se realizó un análisis de consistencia de los datos de precipitación. Para finalizar, se planteó la aplicación del método estadístico de Kagan para la optimización del número de estaciones; y el uso de un software SIG para determinar la ubicación espacial de las estaciones. Como resultado se obtuvo el número óptimo de estaciones, para abarcar un gran porcentaje de la superficie de la cuenca húmeda y semi húmeda.

Palabras Clave: optimización, red pluviométrica, método de Kagan, estación pluviométrica, evaluación de estaciones pluviométricas.

ABSTRACT

This research had the objective of obtain the pluviometric network optimization at the Locumba basin - Tacna - Peru, for which it was proposed a methodology based on the World Meteorological Organization (WMO) guide. First of all, it was carried out a geomorphological and climatic analysis of the basin, then it was made an evaluation of the existing pluviometric network by visiting all the meteorological stations in the basin to know their status and locations. A consistency analysis of precipitation data was also carried out. Finally, it was proposed the application of Kagan statistical method for the optimization of the number of stations; and the use of GIS software to determine the spatial location of the stations. As a result, is was obtained the optimal number of stations to cover a large percentage of the wet and semi-wet basin surface.

Keywords: optimization, pluviometric network, Kagan method, pluviometric station, evaluation of rainfall stations.

I INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El País viene desarrollando un importante cambio en relación al aprovechamiento de los recursos hídricos basados en trabajos científicos que ayudan a sustentar este proceso, impulsado por diferentes entidades como el SENAMHI, ANA, SERNANP, Ministerios, etc. El punto de partida en toda intervención del medio ambiente son los registros de datos hidrometeorológicos del área de estudio con que se cuenta; ya que son los que muestran el comportamiento meteorológico, climatológico e hidrológico. Conocer las variables meteorológicas es importante, por ejemplo: para el diseño de infraestructura, ejecución de los proyectos, pronósticos, elaboración de modelos hidrológicos, hidrogeológicos, calidad de agua, preservación de la flora y fauna, investigaciones, etc.

Según SENAMHI (2014), la entidad del Estado encargada de gestionar la información hidrometeorológica, el país cuenta con 890 estaciones hidrometeorológicas para el monitoreo de todo el territorio nacional, de los cuales 692 son estaciones convencionales y 198 estaciones automáticas. Es decir, existe una estación cada 1444 km².

Según Vera (2010) se puede considerar a esta red en proceso de desarrollo pues su densidad es reducida. Otro aspecto a tomar en cuenta es que existen redes aisladas pertenecientes a privados que no están integrados a la red nacional, y por ende no se tiene acceso a la información, además las estaciones del Estado cuentan con un déficit instrumental, en muchos casos obsoleto que no cumplen la función que se requiere.

Consecuencia de estos problemas, de diseño y operación de redes, es la mala representatividad de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación, temperatura, humedad, etc. Además, trae dificultades a investigadores, proyectistas, estudiantes, etc.

Ante esto la OMM, en sus diversas guías, da recomendaciones para el diseño y la optimización de redes hidrometeorológicas, entre los que se encuentran métodos, tales como Karasiov, Kagan, NAUGLS, etc. Estos métodos se han venido aplicando en diferentes países

de Europa, Asia y EEUU; en Latinoamérica se tiene el caso de Colombia, principalmente; en Perú no se tiene registro de este tipo de trabajos, por lo que, con esta tesis se busca dar un posible sustento técnico para el diseño y optimización de estaciones hidrometeorológicas.

Se vienen realizando trabajos para modernizar la red del país a través de la ANA y del Proyecto de “Modernización de la Gestión de Recursos Hídricos”, que en el 2014 donó 78 estaciones hidrometeorológicas automáticas al SENAMHI en las cuencas piloto y una de ellas en la cuenca Locumba. Con esto se busca tener redes con mayor precisión y disponibilidad a tiempo real.

El propósito de la presente tesis es optimizar la red pluviométrica existente en la cuenca Locumba, tal que se mejore la representatividad de la variación espacial de la precipitación en la cuenca, para tal motivo se trabajó con el registro histórico de datos de estaciones de la cuenca. Se realizó los análisis estadísticos de acuerdo al método de Kagan y se obtuvo el número óptimo de estaciones para la cuenca.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

- Optimizar la red pluviométrica en la cuenca del río Locumba.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinación del número óptimo de estaciones para representar fiablemente la precipitación en la cuenca
- Diagnóstico de la situación actual de la red.

II REVISION DE LITERATURA

2.1 METEOROLOGÍA

Es la ciencia que estudia la atmósfera y todos los fenómenos que ocurren en ella, tales como: la precipitación, el viento, etc. Este análisis se hace en un tiempo a corto plazo (instante, minutos, horas, días, semanas) en una zona geográfica determinada. Los valores pueden ser muy diferentes de las medias climatológicas. (Zúñiga y Crespo, 2010)

2.2 CLIMATOLOGÍA

Estudia la atmósfera y los meteoros o fenómenos que suceden, pero a escalas de tiempos mayores; es decir las variables que se estudian deben tener un mínimo de 30 años con registros y en una zona geográfica determinada.

2.3 PRECIPITACIÓN

Es un fenómeno meteorológico cuyo ciclo comienza en la nube (Figura 1) donde se forman los hidrometeoros que después caen a la superficie terrestre. Dentro de formas de precipitación están la lluvia, nieve, granizo, etc. Así mismo, en la ingeniería hidrológica es importante su estudio pues es la principal fuente de agua de la superficie terrestre, y el registro de ésta es el punto de partida de la mayoría de estudios de uso y control del agua (Aparicio, 1992).

Las variables que intervienen en la formación de la lluvia son:

a. Presión atmosférica

Es la fuerza que ejerce el peso de la columna de aire por unidad de área en un punto. A nivel del mar, a una temperatura de 0 °C y 45° de latitud la presión es 1 atmósfera.

$$P = 1013.2 * \left[\frac{288 - 0.0065 * z}{288} \right]^{5.256} \quad (1)$$

Dónde: z es la altura.

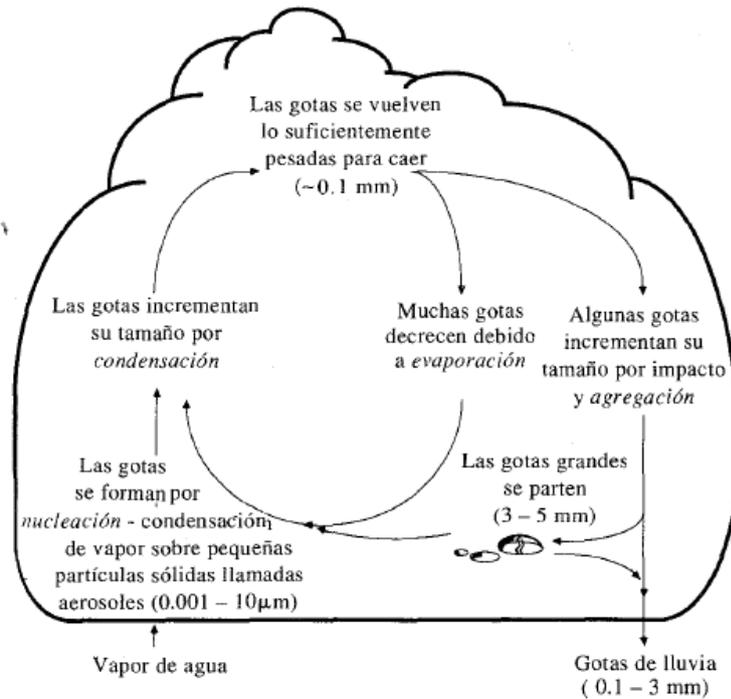


Figura 1: Formación de las gotas de agua en una nube

FUENTE: Chow, 1994

b. Presión de vapor por saturación

Es la columna de vapor de agua que puede soportar un volumen de aire a una presión y temperatura dada justo antes de la condensación. Se utiliza la siguiente fórmula para expresarla:

$$e_d = e_w - 0.00066 * p * (T_a - T_w) * (1 + 0.00115 * T_w) \quad (2)$$

Donde: e_d es la presión de saturación correspondiente a un punto de rocío T_d ; e_w , presión de vapor correspondiente a T_w ; T_a , Temperatura del aire (o temperatura seca) con bulbo seco; T_w , Temperatura húmeda (tapado en bulbo con una tela húmeda) y P , presión.

c. Humedad relativa

Es la relación entre la presión de vapor real (e_a) y la presión de saturación (e_d). Se expresa en porcentaje y el instrumento de medición es el higrógrafo.

$$H_r = 100 * \frac{e_a}{e_d} \quad (3)$$

d. Humedad absoluta

Es la masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen de aire.

$$\rho_v = \frac{M_v}{V_a} \quad (4)$$

Donde: M_v es la masa de vapor y V_a , volumen de aire.

e. Humedad específica

Es la relación de la masa de vapor y la de aire húmedo.

$$H_s = \frac{M_v}{M_a + M_v} \quad (5)$$

Donde: M_v es la masa de vapor y V_a , volumen de aire

2.4 ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Según el INEGI (2001) es el espacio físico donde se ubican y se realizan las observaciones de los instrumentos meteorológicos y/o sensores destinados a medir y registrar en un momento y/o durante las 24 horas del día y por tiempo indefinido las diferentes variables meteorológicas. La clasificación dada por la OMM (2011a) describe siete categorías de estaciones climáticas: estación climatológica ordinaria, estación climatológica principal, estación marina, estación hidrometeorológica, estación agrometeorológica, estación urbana y estación para datos indirectos (Figura 2). En el Perú las categorías son:

2.4.1 Estaciones climatológicas principal

Estas miden las variables temperatura, precipitación, velocidad y dirección de viento; humedad, presión atmosférica, nubosidad y radiación solar en las horas sinópticas principales (7, 13 y 19 horas locales).

2.4.2 Estaciones climatológicas ordinaria

Se diferencia de la climatológica principal, porque no registra la radiación solar.

2.4.3 Estaciones meteorológicas de propósitos específicos

Se instalan para cumplir determinado objetivo y los instrumentos varían de acuerdo a las necesidades.

2.4.4 Estación meteorológica agrícola principal

Son específicas para la investigación de estudios agro meteorológicos. Registran las mismas variables que las climatológicas principales.

2.4.5 Estaciones pluviométricas

Son estaciones dedicadas a la medición de la cantidad de precipitación que llega al suelo durante un periodo determinado.



Estación climatológica



Estación de propósitos específicos



Estación hidrométrica



Estación pluviométrica

Figura 2: Imágenes de los diferentes tipos de estaciones hidrometeorológicas

2.5 RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Es un conjunto de estaciones del mismo tipo que son gestionadas como un grupo en una determinada zona geográfica (espacio) y en un mismo tiempo, se pueden agrupar en pluviométricas, climatológicas, hidrométricas, etc. (Figura 3).

Estas deben tener las características de poder representar la(s) variable(s) para las que fueron diseñadas y a un costo razonable.



Figura 3: Mapa de red de estaciones meteorológicas del SAIH Andalucía, España

FUENTE: SAIH HIDROSUR 2018

2.6 CORRELACIÓN ESTADÍSTICA

La correlación mide el grado de asociación o dependencia entre dos variables tanto si la relación es alta o baja, o si están directa o inversamente proporcional (Lahura, 2003); la asociación se puede cuantificar por el coeficiente de correlación muestral, y que a diferencia de la covarianza no depende de las unidades de medida de las variables. El cálculo de este coeficiente se determina mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (6)$$

Donde: r es el coeficiente de correlación, S_{xy} es la covarianza y $S_x S_y$ es la desviación estándar de X multiplicada por la desviación estándar de Y.

Los valores de r varían entre -1 y 1, si la correlación sale negativa significa que una variable desciende cuando la otra aumenta, y si sale positiva la relación entre las variables es directa.

2.6.1 Tipos de correlación

Dependiendo de la cantidad de variables analizadas se dividen en simple, múltiple y parcial. Dependiendo del tipo de relación se divide en relación directa e inversa.

2.6.2 Diagrama de dispersión

Es una gráfica matemática dentro de un plano cartesiano en la que se representan los valores de un conjunto de datos de ambas variables. Ayuda a sugerir el tipo de correlación que tengan las variables y principalmente mostrar las relaciones no lineales que tengan. En la Figura 4 se muestran diferentes tipos de diagramas de dispersión.

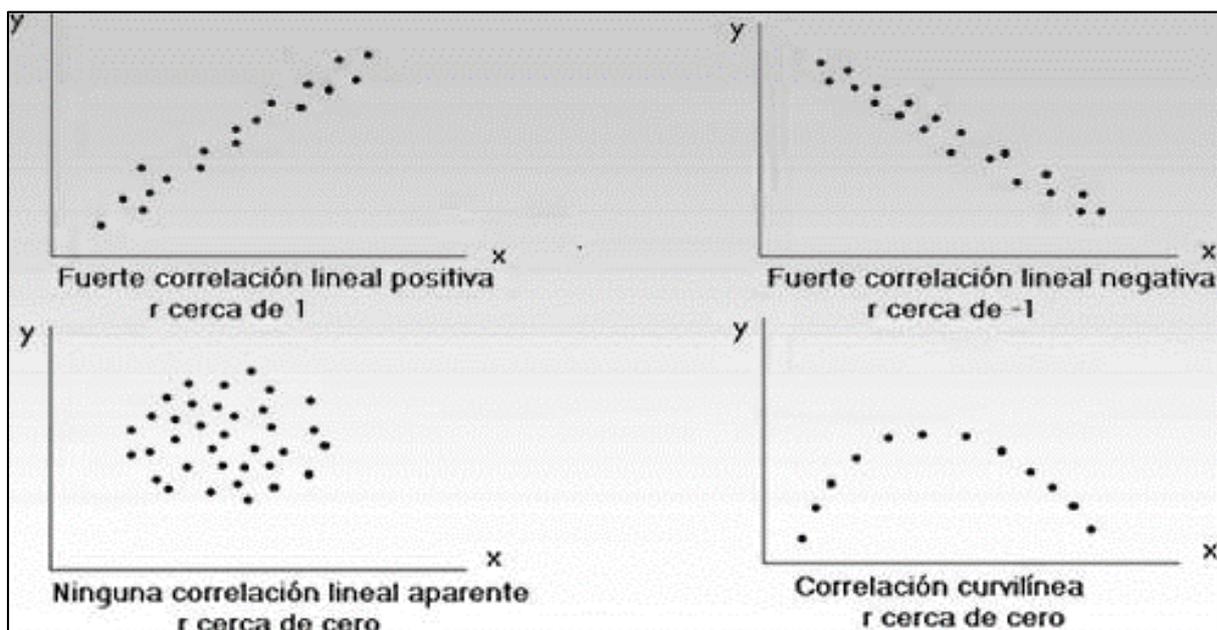


Figura 4: Diagrama de dispersión

FUENTE: DEUNC (2004)

2.7 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

Uno de los aspectos más importantes en el estudio hidrológico viene a ser el análisis de consistencia u homogeneidad de los datos hidrometeorológicos. De no realizarse este procedimiento se pueden incurrir en errores significativos en los análisis posteriores, tales como la determinación de la oferta hídrica o en modelos hidrológicos (Aliaga, 1979).

La metodología del análisis de consistencia radica en la identificación de saltos y tendencias, tanto en la media como en la desviación estándar, los mismos que pueden ser eliminados cuando se alejan demasiado de la realidad, corregidos cuando la naturaleza de los errores lo

permite, o simplemente señalados cuando el valor anormal (inconsistente) puede ser considerado como localmente posible.

El procedimiento seguido es el siguiente:

- Análisis gráfico, para identificar saltos, tendencias y valores anómalos.
- Regionalización, es la agrupación de estaciones que cuentan con régimen pluviométrico similar.
- Análisis de doble masa, para identificar o corroborar periodos dudosos.
- Análisis estadístico a los parámetros estadísticos de la media y en la desviación estándar.

2.7.1 Regionalización

Debido a la diversidad climática de las cuencas del Pacífico el comportamiento entre las diferentes zonas climáticas es diferente por lo que es necesario realizar una regionalización de estaciones para agrupar las estaciones de un mismo comportamiento. Este agrupamiento se realiza en base al régimen pluviométrico y variación interanual de la precipitación.

La hipótesis fundamental en la que se basa, consiste en asumir que para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitaciones, los totales pluviométricos anuales son pseudo-proporcionales, con una pequeña variación aleatoria cada año debido a la repartición de las lluvias dentro de la zona (el mismo principio que un análisis convencional de doble masa). La ecuación de la hipótesis base es la siguiente

$$\frac{x_{\theta i}}{x_{M\theta}} = z_i + e_{\theta i} \quad (14)$$

Donde: Z es el vector de la zona climática estudiada para el año i, $x_{\theta i}$ es la precipitación anual de la estación θ , $x_{M\theta}$ es la esperanza matemática de x_{θ} en su universo y $e_{\theta i}$ es la variable aleatoria independiente de z_i .

El principio del método parte de la identificación de las variables de entrada del método, tales como las precipitaciones anuales para μ estaciones en n años, lo que forma la matriz de observación A (n, μ) (Le Goulven,1988).

La ecuación que representa al espacio en μ dimensiones:

$$\frac{X_{\alpha}}{X_{M\alpha}} + \frac{X_{\beta}}{X_{M\beta}} + \dots + \frac{X_{\mu}}{X_{M\mu}} - \mu_{zi} = 0 \quad (15)$$

La que representa un hiperplano perpendicular a la recta:

$$\frac{X_\alpha}{x_{M\alpha}} = \frac{X_\beta}{x_{M\beta}} = \dots = \frac{X_\mu}{x_{M\mu}} \quad (16)$$

Con estas ecuaciones se busca calcular los valores $x_{M\theta}$ y z_i para cada estación y año respectivamente. Para eso se utiliza los mínimos cuadrados para minimizar la expresión de la hipótesis base asumiendo promedio de $z=1$, promedio de $E=0$ y $\text{Var } \theta = \text{Var } E$.

$$\sum \sum \left(\frac{x_{\theta i}}{x_{M\theta}} - z_i \right)^2 \quad (17)$$

Derivando la ecuación anterior según z_i para μ_i estaciones observadas en el año i , se obtiene:

$$z_i = \frac{1}{\mu_i} \sum \left(\frac{x_{\theta i}}{x_{M\theta}} \right) \quad (18)$$

Derivando esta expresión según $1/x_{M\theta}$, si existen n_1 años observados en esta estación θ , resulta μ ecuaciones:

$$\sum x_{\theta i} \left(\frac{x_{\theta i}}{x_{M\theta}} - z_i \right) = 0 \quad (19)$$

Se reemplaza la ecuación 5 en la 4 y se deriva según $1/x_{M\theta}$ de manera que se obtiene un sistema de μ ecuaciones con μ incógnitas:

$$f(\alpha, \theta) \left(\frac{1}{x_{M\alpha}} \right) + \dots + f(\mu, \theta) \left(\frac{1}{x_{M\mu}} \right) = 0 \quad (20)$$

La solución al sistema lineal es homogénea:

$$\frac{1}{x_{M\alpha}} = \dots = \frac{1}{x_{M\mu}} = 0 \quad (21)$$

Ahora haciendo $1/x_{M\mu} = 1$ para obtener por medio de mínimos cuadrados los $(\mu-1)$ valores de $1/x_{M\theta}$ que satisfagan las μ relaciones entre las cantidades f de la ecuación 7.

De la ecuación 4 se calculan los valores de z_i , y si el promedio de z_i es 1 se calculan el coeficiente X , pudiéndose determinar los valores de C :

$$C = \sqrt{\text{Var}Z + \text{Var}E} \quad (22)$$

De esta manera se obtienen las ecuaciones:

Para cada año i : $z_i - \frac{1}{\mu_i} \sum \left(\frac{x_{\theta i}}{x_{M\theta}} \right) = 0$

Para cada estación θ : $\sum \left(\frac{x_{\theta i}}{x_{M\theta}} - z_i \right) \neq 0$

Finalmente resulta la ecuación:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{\theta=1}^n \left(\frac{x_{\theta i}}{x_{M\theta}} - z_i \right) = 0 \quad (23)$$

Donde i es el índice de año, θ el índice de estación, n el número de años y m el número de estaciones. $X_{\theta i}$ es la precipitación anual en la estación θ el año i , $X_{M\theta}$ es la precipitación media extendida al período de n años y finalmente z_i es el índice pluviométrico regional del año i .

El método de Brunet – Moret (1971) considera que el índice regional de un año (Z_i) es el promedio de los índices de todas las estaciones. Sin embargo, toma la precaución de filtrar los índices de las estaciones que se alejan demasiado del promedio, puesto que el promedio es influenciado por los valores extremos. De la misma manera, la media extendida de una estación se calcula a partir de la media de los valores observados o estimados, siempre después de filtrar los valores que se alejan demasiado de los valores de las estaciones vecinas para un mismo año.

2.7.2 Pruebas de doble masa

Esta prueba busca caracterizar las relaciones entre estaciones, así como identificar posibles quiebres en el registro histórico de estas, para estaciones de similar zona climática. Es así que se parte de la hipótesis base que, debido a estar sometidos a los mismos efectos de persistencia, tendencia y régimen, deben tener coeficientes de variaciones similares.

Matemáticamente, se representa que para un año i , los totales anuales x_i y y_i de dos estaciones de la misma zona tienen la siguiente relación:

$$\frac{x_i}{x_m} = \frac{y_i}{y_m} + e_i \quad (7)$$

Es así que para una estación X con valores anuales t_i pueden expresarse en forma reducida por la variable w_i :

$$w_i = \frac{(t_i - t_m)}{\sigma_t} \quad (8)$$

Donde: t_m es el promedio de la tendencia y σ_t es la desviación estándar.

Relacionando los diferentes factores propios de la estación, las precipitaciones podrían representarse por la ecuación:

$$x_i = x_m + \sigma_x * (r_x * w_i + u_i * \sqrt{1 - r_x^2}) \quad (9)$$

Donde: x_m es la precipitación promedio, σ_x desviación estándar, u_i fluctuaciones aleatorias y r_x el coeficiente de correlación entre la estación y su tendencia

Así, para todos los datos hasta el año n, se tiene:

$$\sum x_i = n * x_m + \sigma_x * (r_x \sum w_i + \sum u_i * \sqrt{1 - r_x^2}) \quad (10)$$

Dividiendo entre x_m :

$$x_n = \sum \frac{x_i}{x_m} = n + C_x (r_x * \sum w_i + \sum u_i * \sqrt{1 - r_x^2}) \quad (11)$$

Donde: C_x es el coeficiente de variación de la estación.

Considerando una estación diferente Y, se tendría:

$$Y_n = n + C_y (r_y * \sum w_i + \sum v_i * \sqrt{1 - r_y^2}) \quad (12)$$

Reagrupando en relación a n:

$$Y_n = \begin{cases} x_n \\ + \sum w_i (r_y * C_y - r_x * C_x) \\ + (C_y * \sum v_i * \sqrt{1 - r_y^2} - C_x * \sum u_i * \sqrt{1 - r_x^2}) \end{cases} \quad (13)$$

Según la ecuación, si estas dos estaciones X e Y son de comportamiento climático similar en tendencia y régimen. el valor de coeficiente de correlación será aproximado a uno (Le Goulven et al., 1988).

2.7.3 Análisis estadístico

Se procedió a analizar estadísticamente la media y la desviación estándar, con el propósito de corroborar si los periodos, identificados en el análisis de doble masa, mantendrán sus valores o se modificarán.

Para eso se agrupan los valores en dos periodos, donde se observó los datos dudosos, y se aplicó la consistencia a la media y desviación estándar de ambos periodos.

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i \text{ y } S_1 = \left[\frac{1}{n_1-1} * \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

Donde: \bar{Y} es la media, n_1 tamaño del periodo, n el tamaño total de la muestra y S_1 desviación estándar del periodo.

- Consistencia en la media

Esta prueba de significancia “T”, analiza si los valores promedios son iguales o diferentes estadísticamente.

A partir de la Hipótesis nula.: $\mu_1 = \mu_2$, Hipótesis alternativa: $\mu_1 \neq \mu_2$ y nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Se calcula la desviación estándar de los promedios (S_d) y ponderada (S_p)

$$S_d = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$S_p = \left[\frac{(n_1-1)*S_1^2 + (n_2-1)*S_2^2}{n_1+n_2-2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Se ejecuta la prueba T-Student

$$T_c = \frac{(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_d} \quad (26)$$

Luego se determina su homogeneidad:

Si $|T_c| < T_t$ entonces $\bar{Y}_1 = \bar{Y}_2$

Si $|T_c| > T_t$ entonces $\bar{Y}_1 \neq \bar{Y}_2$

- Consistencia en la desviación estándar

Se determina con la prueba “F”. A partir de la hipótesis nula: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$, Hipótesis alternativa: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ y nivel de significancia $\alpha=0.05$

Calculo F_c

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ si } S_1^2 > S_2^2 \quad (27)$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2} \text{ si } S_1^2 < S_2^2 \quad (28)$$

Y los criterios de decisión son:

Si $F_c < F_t$ entonces $S_1 = S_2$

Si $F_c > F_t$ entonces $S_1 \neq S_2$

2.8 Método de polígonos de Thiessen

El método es una técnica de interpolación de dos puntos en una distancia euclidiana. Al unir estos dos puntos se traza la mediatriz del segmento, así cuando se tienen varios puntos, la intersección de las mediatrices forman polígonos en un espacio bidimensional de manera que sean equidistantes a los puntos vecinos (Figura 5). De esta manera se establece una relación entre el área de influencia y la estación.

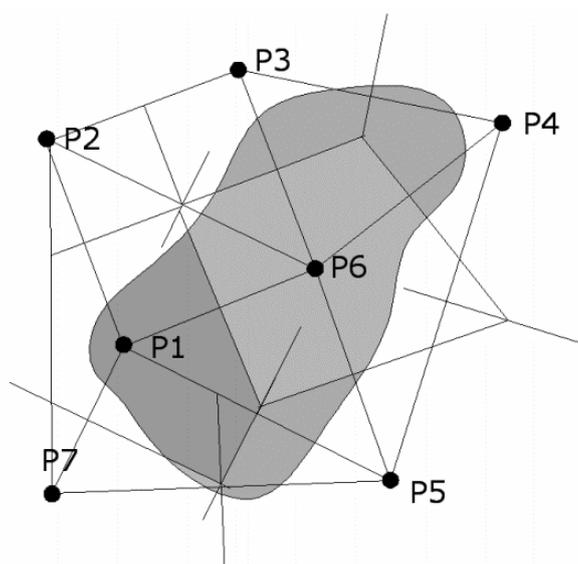


Figura 5: Ejemplo de polígonos de Thiessen

FUENTE: Bateman 2007

2.9 SISTEMA DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA Y DISEÑO DE RED

La OMM (2011a), aconseja que los datos generados por las actividades de las estaciones no tendrían valor si estas no llegan a los usuarios potenciales de manera fácil y fiable, por lo que plantea que las entidades deben contar con un sistema de información hidrológica que permitan la disposición de los datos adecuados, en el formato correcto, y en el lugar y momento apropiado. No solo resalta el número de estaciones de medición, sino su distribución, el proceso de toma de información, el acceso a la información y la parte técnica como modelos numéricos, físicos, estadísticos o socioeconómicos que se debe incorporar en el sistema.

En la Figura 6 se observa que el diseño de la red es un componente del total. Empieza por plantear los objetivos de la red y lo que se debe tomar en cuenta para cumplirlos, estos aspectos son: las variables hidrológicas que se van a observar, el lugar, la frecuencia, el tiempo de vida de la red y el grado de exactitud de las observaciones.

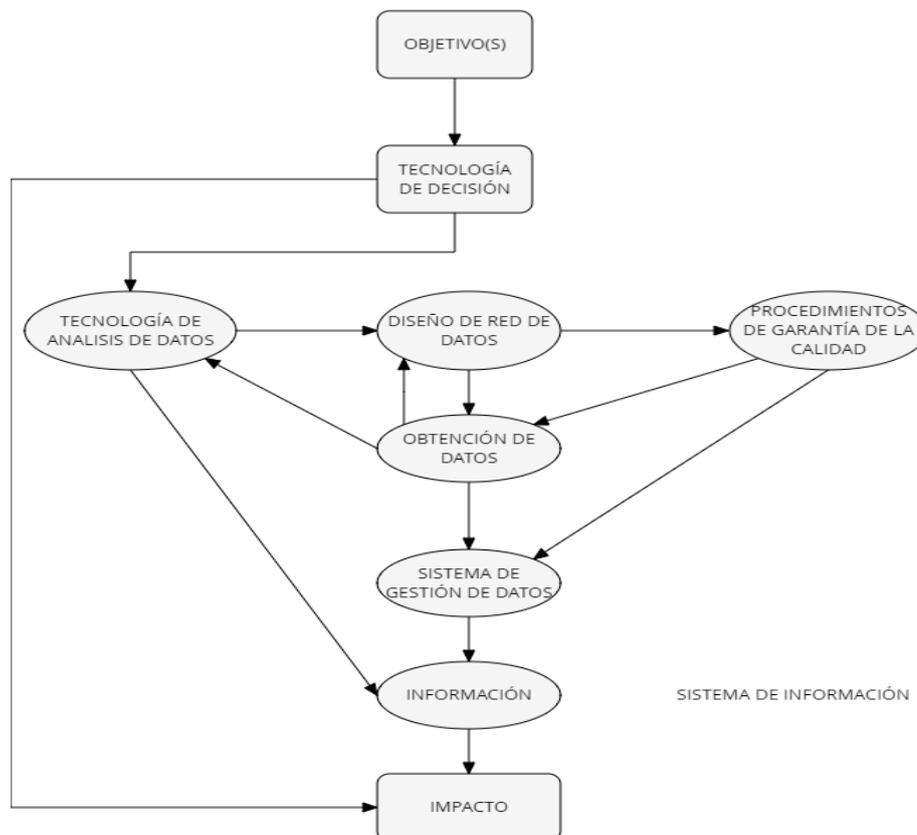


Figura 6: Componentes de un Sistema de Información Hidrológica

FUENTE: OMM (2011b)

Un diseño de red de estaciones completo, empieza por definir las variables hidrológicas que se va observar; en segundo lugar, la ubicación; luego la frecuencia y duración de la observación; y finalmente el grado de exactitud (OMM 2011a).

Para comprender el proceso de diseño de la red, la OMM (2011b) ha formado una pirámide referencial de elementos básicos (Figura 7). La base de esta pirámide es la ciencia hidrológica, luego los métodos cuantitativos para tratar de disminuir la incertidumbre hidrológica; en segundo plano se encuentra lo siguiente: la teoría de optimización o investigación de operaciones que aporta un conjunto de programas matemáticos, los análisis socioeconómicos que cumplen un rol importante para el diseño (desde buscar que la red tenga un costo beneficio mayor, hasta el hecho de poder ser materializada desde un punto de vista político y social), y la teoría de la optimización o investigación de operaciones (programas matemáticos que se puede aplicar al diseño de la red). Finalmente, en la parte superior está la teoría de la decisión que es la encargada de integrar todos los componentes de la pirámide.

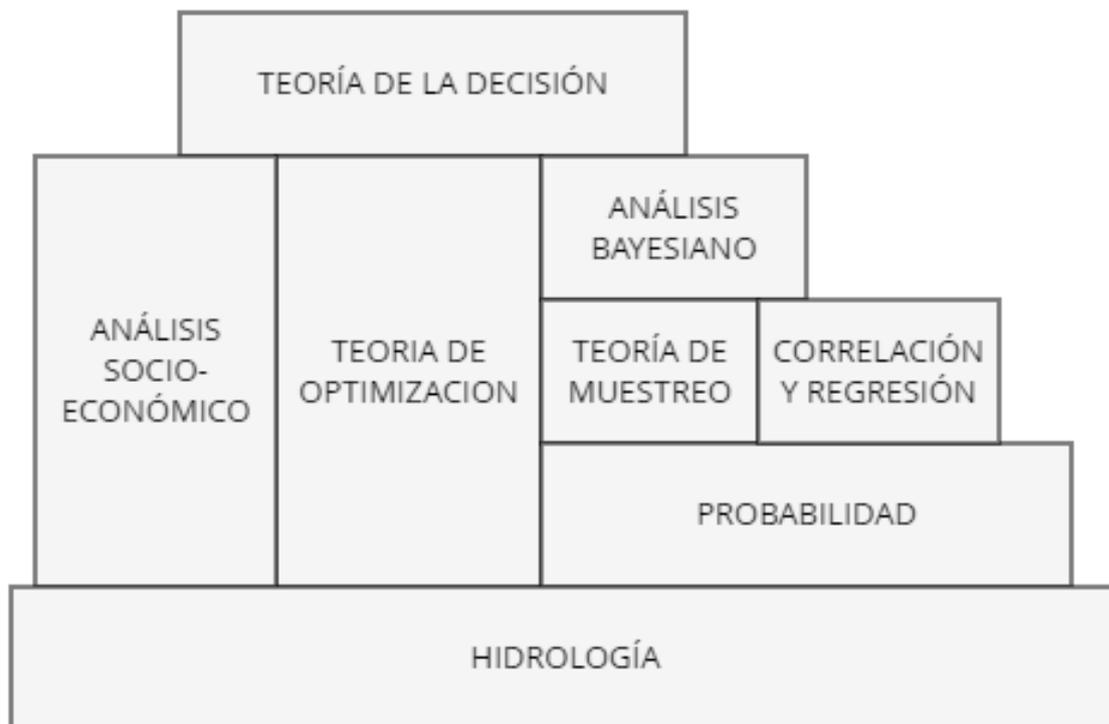


Figura 7: Elementos básicos del diseño de redes

FUENTE: OMM (2011b)

2.9.1 Análisis de red

De acuerdo a la OMM (2011a), los pasos a seguir para el diseño y la evaluación de una red hidrológica son (Figura 8):

- Contexto institucional: referido a identificar las entidades públicas y privadas que intervienen en la red, y mejorar la organización y comunicación entre ellas.
- Fines de la red: esta es la base del diseño de la red, donde se toma en cuenta a los que van a utilizar los datos y en que se van aplicar.
- Objetivos de la red: tomando en cuenta el fin de la red se debe plantear los objetivos.
- Establecimiento de prioridades: teniendo la cantidad de objetivos de la red, se debe establecer cuáles son los primordiales.
- Evaluación de redes existentes: esta evaluación toma en cuenta tanto el estado físico como la calidad de información que se maneja, además de la densidad y distribución de las estaciones.
- Diseño de red: de la evaluación de la red y los objetivos definidos, se debe establecer la técnica de diseño que más se ajuste.
- Optimización de las operaciones: se debe evaluar la ubicación de las estaciones, los instrumentos de medición y la frecuencia que sean los más rentables en costo y calidad.
- Presupuesto: tomando en cuenta los pasos anteriores, se debe optar por un diseño acorde con el presupuesto o, en su defecto, buscar mayor financiamiento o priorizar los objetivos de la red.
- Implementación: es la etapa de ejecución de la red rediseñada, generalmente se debe planificar para un corto y largo plazo la implementación.
- Revisión de la red: debido a que este sistema está sujeto a diferentes variables que pueden cambiar con el tiempo es necesario realizar una revisión periódicamente para poder atender las necesidades.

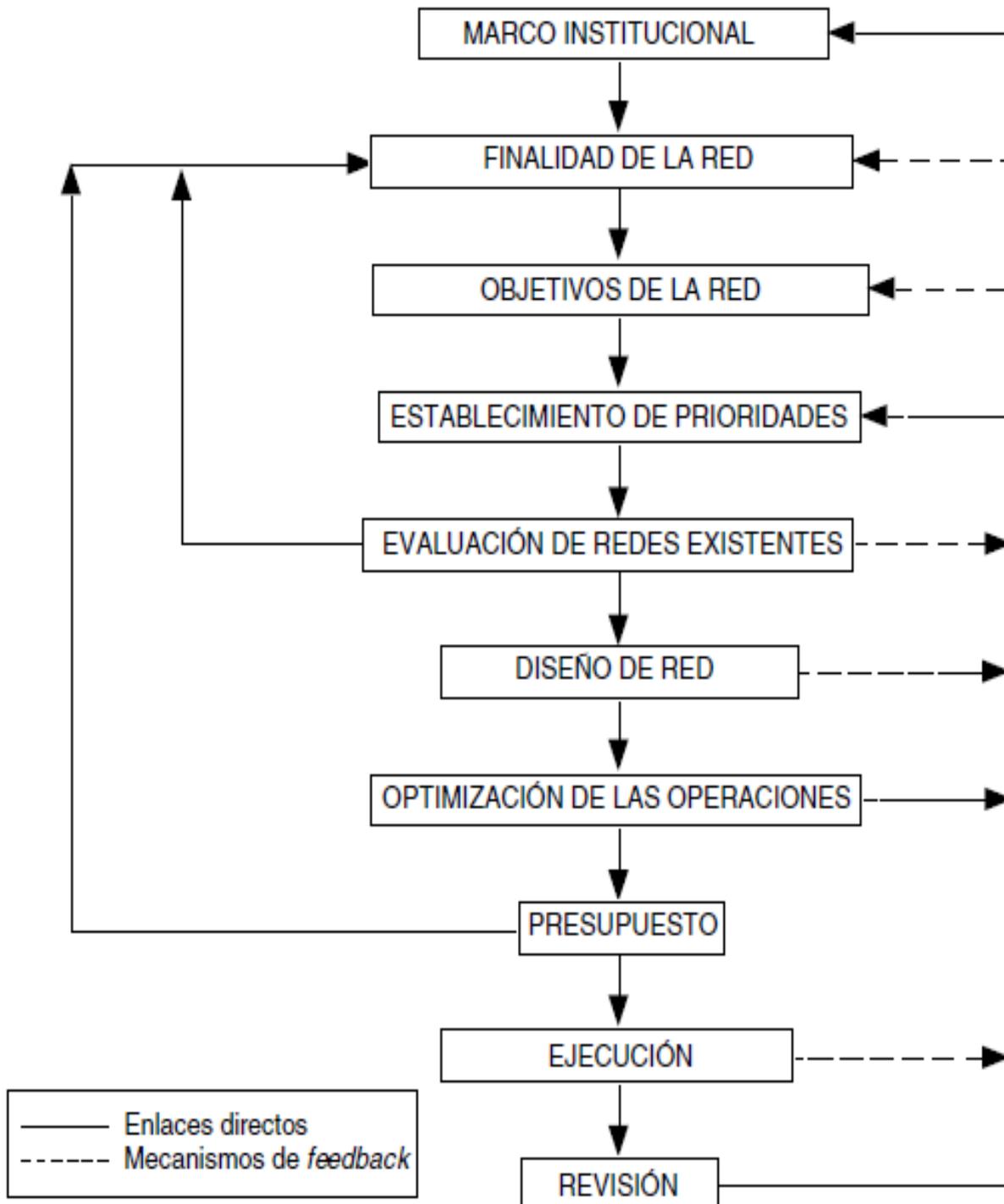


Figura 8: Esquema del análisis de una red

FUENTE: OMM (2011b)

2.10 MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES DE ESTACIONES

2.10.1 Método de Kagan

El objetivo del método es representar la variabilidad de la precipitación y correlacionar estaciones de una misma red, cuenca o zona de estudio; a partir de ahí evaluar la bondad de la red meteorológica, según los criterios de la predicción o precisión de la lluvia, que el autor asocia a un error medio cuadrático relativo (Z1) y a la predicción de la interpolación espacial que está asociado a un error relativo denominado Z3 (Kagan 1966).

La base del método lo constituye una función de correlación espacial $\rho(d)$, denominado coeficiente de correlación cruzada, que depende de la distancia que separa a las estaciones en análisis, de las características del área en consideración y del tipo de precipitación.

$$\rho(d) = \rho(0)e^{d/d_0} \quad (29)$$

Donde: d es la distancia entre centroides, $\rho(0)$ es el coeficiente de correlación cruzada para una distancia $d=0$ y d_0 es el radio de correlación, o distancia a la cual el coeficiente es $\rho(0)/e$.

Este coeficiente debería ser igual a la unidad, sin embargo, es menor debido a errores aleatorios en la medición de la lluvia y la variabilidad micro-climática de la zona en estudio. La varianza de estos errores se puede estimar con la siguiente fórmula:

$$\sigma_1^2 = [1 - \rho(o)]\sigma_p^2 \quad (30)$$

Donde: σ_p^2 es la varianza de la precipitación puntual.

Criterios utilizados por Kagan para la optimización de la red:

a. Evaluación de la predicción o precisión de la lluvia promedio

Para determinar la precisión de la lluvia en un punto dado dentro de un área, el autor formula un error denominado error cuadrático medio relativo (Z1) en función del área de la superficie geográfica, el número de estaciones, la precipitación media, la varianza y los valores de la fórmula del coeficiente de correlación cruzada.

$$Z_1 = Cv \left[\frac{(1-\rho_0)+0.23\frac{\sqrt{A}}{d_0*\sqrt{N}}}{N} \right]^{1/2} \quad (31)$$

$$Cv = \frac{\sigma_p}{p_{med}} \quad (32)$$

Donde: Cv es el coeficiente de variación, P_{med} es la precipitación media, σ_p es la desviación estándar, $\rho(0)$ es el coeficiente de correlación cruzada para una distancia $d=0$, d_0 es el radio de correlación o distancia a la cual el coeficiente es $\rho(0)/e$, N es el número de estaciones y A es el área total de la cuenca o zona en estudio.

b. Evaluación de la predicción de la interpolación espacial

Con esta evaluación se busca determinar el error relativo (Z3) en cualquier punto del área estudiada; es decir, asume una interpolación lineal entre dos puntos e interpolación hacia el centro de un cuadrángulo o triángulo. Puede estar dado para una distribución cuadrangular o triangular, como ya se mencionó, dependerá de la configuración de la zona. Ya que la mayoría de superficies son caprichosas se utiliza la distribución triangular, que se adapta mejor a cualquier tipo de deformación en la superficie. Así, la fórmula para una distribución triangular del error relativo es:

$$Z_3 = Cv \left[\frac{(1-\rho_0)}{3} + \frac{0.52*\rho_0*\sqrt{A}}{d_0*\sqrt{N}} \right]^{1/2} \quad (33)$$

Donde: Cv es el coeficiente de variación, $\rho(0)$ es el coeficiente de correlación cruzada para una distancia d igual a 0, d_0 es el radio de correlación o distancia a la cual el coeficiente es $\rho(0)/e$, N es el número de estaciones y A es el área total de la cuenca o zona en estudio.

2.10.2 Método de Karasiov

Esta metodología pretende la caracterización de la variable hidrometeorológica tratada, atendiendo a los factores físico-geográficos, a través de diversos tratamientos estadísticos de las series de registros de datos.

Los criterios formulados por Karasiov (1972) se exponen a continuación:

a. Criterio de gradiente

La formulación matemática del criterio del gradiente se desprende de la definición de este mismo y tiene en cuenta que para dos puntos vecinos el incremento de "Y" debe superar dos

veces el error sistemático de su medición; así, el incremento " ΔY " entre dos puntos de observación separados por una distancia " l " (entre centroides) debe ser:

$$\Delta Y = l * grad(Y) \geq 2\sigma \quad (34)$$

$$\sigma = Cv/(N^{1/2}) \quad (35)$$

Donde: N es el número de observaciones y Cv es el coeficiente de variación

Teniendo en cuenta lo anterior se obtiene que el área de gradiente se estima como:

$$A_{grad} \geq \frac{8\sigma^2 Y_0^2}{(grad(Y))^2} \quad (36)$$

Donde: A_{grad} es el área necesaria para que el incremento de "Y" sea mayor que el margen de error de la medición, Y_0 es la norma de precipitación y $grad(Y)$ es la gradiente de Y

b. Criterio de correlación

Se define como la distancia máxima que puede existir entre dos puntos de observación para que no se pierda la memoria espacial entre dichos puntos.

Para lo que se aplica la siguiente formulación matemática:

$$A_{correlativa} \leq \frac{\sigma^4}{Cv^4 a^2} \quad (37)$$

Donde: $A_{correlativa}$ es el área correlativa, después de la cual se pierde la conexión estadística entre estaciones; Cv es el coeficiente de variación de "Y" (espacial)

A su vez:

$$a = l/l_0 \quad (38)$$

Este criterio se apoya en la función de correlación espacial, de la cual se obtiene el radio correlativo l_0 que es la distancia en la que se pierde la correlación entre los puntos de estaciones.

c. Criterio de representatividad

Los valores hidroclimáticos tienen una variabilidad espacial que no depende solo del proceso atmosférico, sino también orográfico. Estos aspectos afectan el régimen de las variables,

haciendo que la influencia de una estación en el área geográfica sea mayor o menor dependiendo de la ubicación de la misma.

Es así que para la determinación del área representativa se utiliza la construcción de curvas $Y = f(A)$ que relaciona los datos con el área de influencia de las estaciones. Esta curva mostrará los rangos de área mínima (A'_{min}) y área máxima (A'_{max}), si el área de dominio es menor al área mínima se debe a fenómenos hidrológicos locales, mientras que si el área de dominio es mayor al área máximo se asocia a factores exógenos como la orografía, altitud, etc. Si el área de dominio se encuentra dentro del área mínima y máxima significa que el régimen este influenciado principalmente por el factor hidroclicmático lo que significaría que la ubicación y cantidad de estaciones estaría bien definida.

d. Relación general de los criterios de optimización.

Una vez obtenidas tanto las áreas de gradiente como las correlativas se debe obtener el área óptima. Estas relaciones varían de acuerdo al tipo de criterio que se han aplicado, siendo la más común:

$$A_{representativa} < A_{gradiente} < A_{\acute{o}ptima} < A_{correlativa}$$

De ese criterio se calcula el número de nodos o estaciones óptimo de la cuenca con la siguiente fórmula:

$$N_{nodos} = \frac{\text{Área de la cuenca}}{A_{\acute{o}ptima}} \quad (39)$$

2.11 ANTECEDENTES

La preocupación por los sistemas de redes de medición de variables climáticas en países de Latinoamérica se viene dando en los últimos años, pero aun la mayoría de ellos no cuentan con redes que den datos confiables, en un tiempo oportuno y con suficiente densidad para cubrir espacialmente (Vera, 2010). La Tablas 1 y 2, muestran la relación de países y el número de estaciones hidrométricas y meteorológicas, en la que el Perú ocupa uno de los últimos lugares en estaciones hidrométricas y media tabla en el caso de meteorológicas; cabe resaltar que si bien es cierto se tiene un buen número de estaciones éstas son manuales, con estaciones en déficit instrumental y obsoletos; países como Brasil, Chile y Colombia cuentan con casi toda su red con estaciones automáticas equipadas con tecnología moderna que les dan información confiable y en tiempo real (Figuras 9 y 10).

Tabla 1: Número de estaciones hidrométricas en Latinoamérica

País	Extensión	n.º Estaciones
Brasil	8516000	5966
Colombia	1142000	775
Chile	756096	455
Uruguay	176215	103
Ecuador	283560	156
Argentina	2780000	362
Perú	1285000	140
Venezuela	916445	94
Bolivia	1099000	72

La principal implicancia del estado de las redes actuales del Perú es la poca representatividad de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación, temperatura, humedad, etc. Lo que trae dificultades a investigadores, proyectistas, estudiantes, etc.

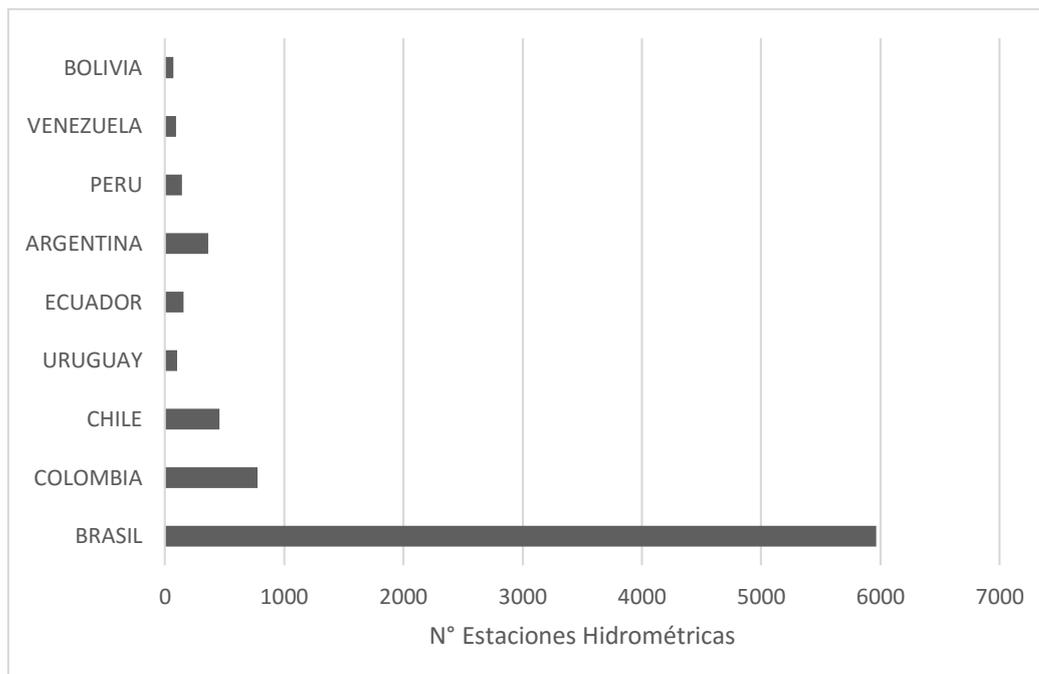


Figura 9: Número de estaciones hidrométricas en Latinoamérica

Tabla 2: Densidad de estaciones meteorológicas en Latinoamérica, México y España

País	Extensión	n.º Estaciones	Densidad
Colombia	1142000	1994	0.00174606
Ecuador	283560	378	0.00133305
Chile	756096	585	0.00077371
Perú	1285000	557	0.00043346
Bolivia	1099000	470	0.00042766
Venezuela	916445	300	0.00032735
Uruguay	176215	24	0.00013620
Brasil	8516000	721	0.00008466
Argentina	2780000	201	0.00007230
Paraguay	406752	27	0.00006638
España	504645	2900	0.00574661
México	1973000	3700	0.00187532

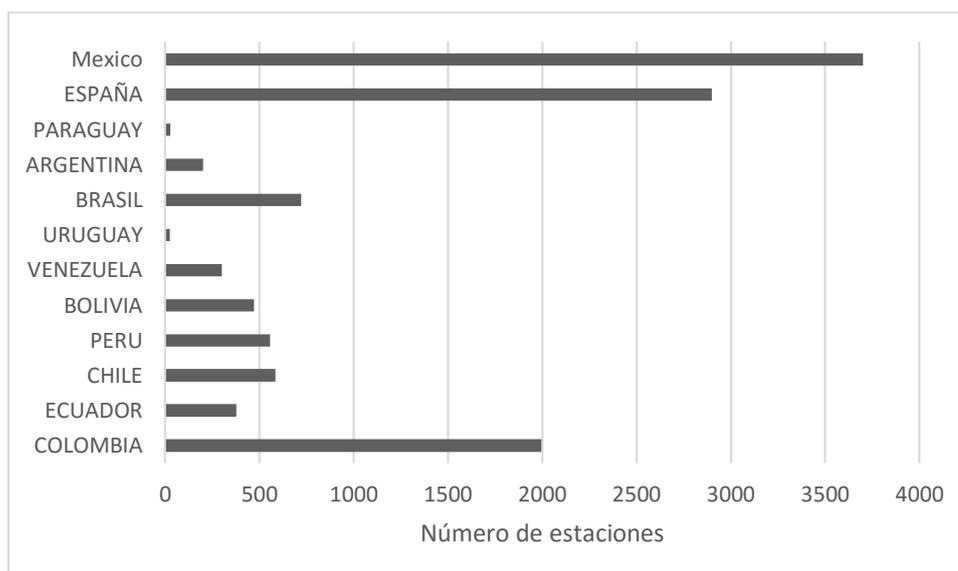


Figura 10: Número de estaciones meteorológicas en Latinoamérica, México y España

A nivel internacional esta preocupación se dio en los años de 1950 lo que hizo la OMM respondiera iniciando programas sobre hidrología operacional, publicando la primera Guía de Prácticas hidrometeorológicas en 1965, la que incluía un capítulo de diseño de redes. En este marco la OMM, junto a la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas organizó un simposio de Diseño de Redes Hidrológicas en Quebec, el mismo año. En aquella reunión se planteó los tres enfoques para el diseño de redes: el primero fue el pragmático básico,

luego el análisis de datos y tercero la teoría estadística. Es en 1965 donde se plantea una de las primeras ecuaciones para el diseño de redes dado por Benson (1965).

$$N_1 = 22.9 \times A^{0.26} \times P^{0.22} \times R^{0.21} \times W^{0.11} \times I^{0.05} \quad (40)$$

Donde: N_1 es el número de estaciones por estado, A es el área geográfica, P es la población en millones, R es la diferencia entre la altitud más alta y la más baja, W es el caudal extraído para todos los usos, excepto para la energía hidráulica e I es la superficie de riego.

Esta fórmula tuvo un error estándar de 28,5 por ciento para una significancia de 95 por ciento. Por lo que se utilizó como una estimación general.

Ya por los años de 1970 y 1980 hubo un mayor avance en el desarrollo de ideas y enfoques para el diseño de redes, poniendo énfasis en herramientas de métodos estadísticos más precisos. Teniendo dos componentes principales: el conjunto de estaciones que recopila los datos y el mecanismo de transferencia de la información de datos (Moss y Karlinger, 1974). Más tarde en 1991 Moos y Tasker compararon y analizaron dos métodos de diseño de redes aplicados en EEUU: el análisis de red para la información regional (NARI) y el análisis de red utilizando mínimos cuadrados (NAUGLS) propuesto por Stediner y Tasker (1985), teniendo en común ambos métodos que maximizaban la información regional dentro del presupuesto y en un horizonte temporal.

En Latinoamérica se cuenta con estudios realizados en Colombia; el primero elaborado por Constanza y Bernal (2007), quienes diseñaron la ampliación de la red hidrometeorológica de Bogotá y la cuenca alta del río Tuntujuelo, utilizando los métodos de Kagan y Kariasov. Del estudio obtuvieron que el número óptimo de estaciones es de 41. El segundo es el estudio hecho por Domínguez et al. (2006), quienes aplicaron los criterios de optimización de Kariasov a la red hidrológica colombiana; ellos encontraron que el principal problema de la red colombiana no es el número de estaciones sino la mala cobertura óptima de cada estación, debido a que la red ha ido evolucionando sin una planificación, por lo que se agregaban estaciones para propósitos específicos a la red general. En Venezuela se tiene el estudio de Rojas y Mora (2008), quienes realizaron el diseño óptimo de redes pluviométricas por el método del punto ficticio aplicado en la cuenca que conforman el sistema Yacambú-Quibor.

En la Tabla 3 se muestra algunos métodos de optimización utilizados en todo el mundo.

Tabla 3: Métodos de optimización hidrológica

País	Autor	Año
URSS	Velikanov M.A., Ivanov P.V.	1940
USA	Eagleson P.S.	1965
URSS	Kagan	1966
URSS	Karasiov I.F.	1968
Canadá	Solomon S.I.	1968
USA	Moss M.E.	1970
URSS	Alekciev G.A.	1971
USA	Moss M.E., Karlinger M.R.	1974
Canadá	Villeneuve J.P., Morin G., Bobee B., Leblanc D.	1979
USA	Tasker G.D., Moss M.E.	1979
USA	Stedinger J.R., Tasker G.D.	1985

FUENTE: Constanza y Bernal 2007

III MATERIALES Y METODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

a. Ubicación geográfica

La cuenca a estudiar está ubicada al sur del Perú (Figura 11) con un área de 5800 Km², entre las coordenadas geográficas: Latitud sur 16° 35' 15" – 18° 10' 12" y Longitud oeste 69° 30' 25" – 71° 08' 25". Y coordenadas UTM: Norte 8 040 000 – 8 140 000 y Este 320 000 – 420 000. La Variación altitudinal es de 0 a 5815 m.s.n.m.

b. Ubicación hidrográfica

Se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Ubicación hidrográfica

Cuenca	Ubicación Hidrográfica				
	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Vertiente
Locumba	13	131	Locumba	Alto Locumba Jaruma, Ilabaya, Medio Alto Locumba, Cinto, Medio Locumba, Medio Bajo Locumba, Honda, Bajo Locumba	Pacífico.

c. Ubicación política

Se encuentra en los departamentos de Tacna y Moquegua; provincias de Jorge Basadre, Candarave, Mariscal Nieto e Ilo; así como, en los distritos de Ite, Locumba, Ilabaya, Curibaya, Quilahuani, Huanuara, Cairani, Camilaca, Candarave, Carumas y Torata.

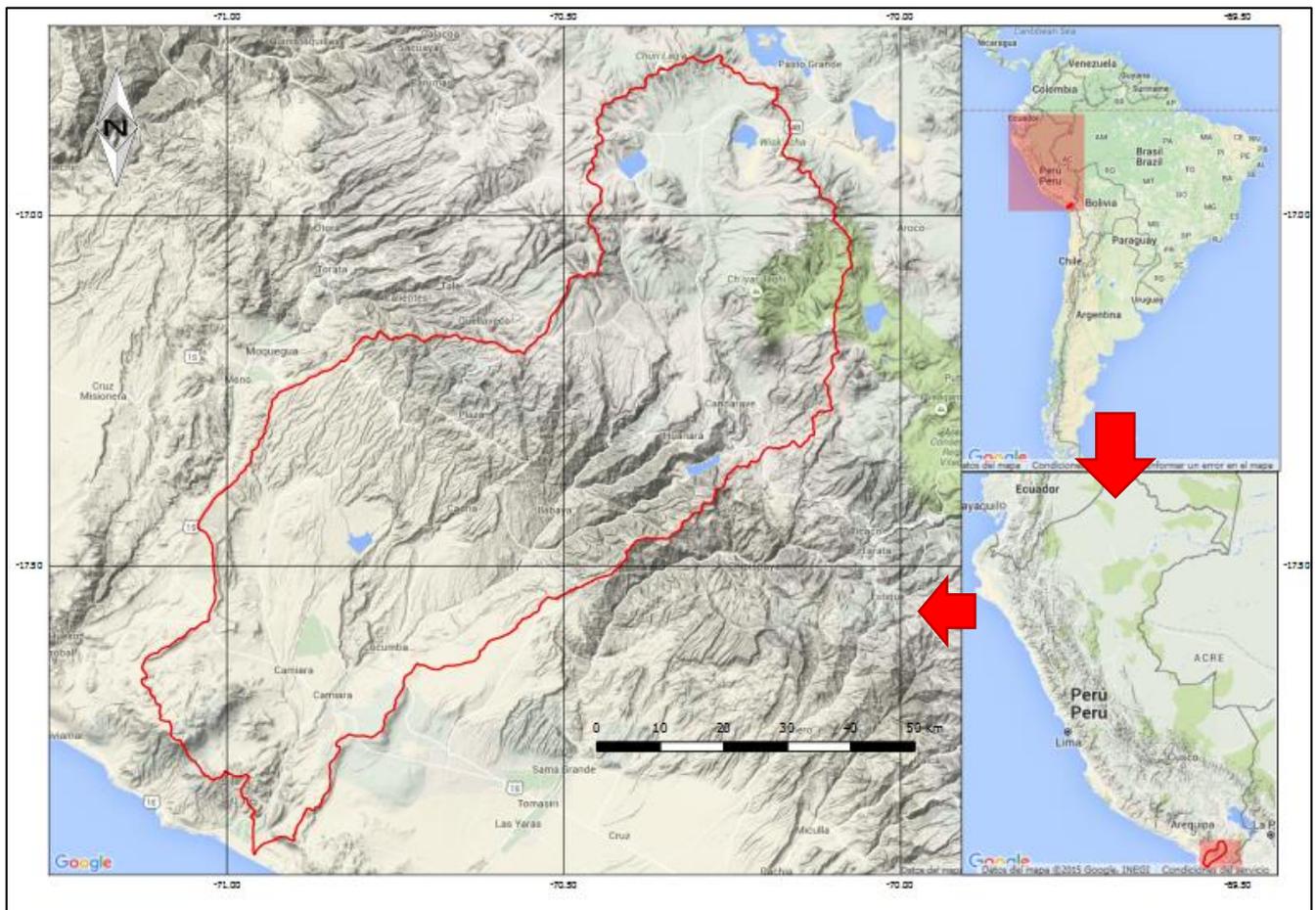


Figura 11: Ubicación de la cuenca Locumba

3.2 MATERIALES

Debido a la naturaleza de la tesis los materiales utilizados fueron principalmente los registros históricos de las estaciones pluviométricas dentro de la cuenca Locumba.

3.2.1 Datos de precipitación

Se ha recopilado información de todas las estaciones pluviométrías dentro y fuera de la cuenca. En la Tabla 5 se presentan las estaciones, en total 16 (Figura 12), las cuales fueron sometidas a procesos de consistencia de datos. Los datos provienen del SENAMHI, Proyecto Especial Tacna (PET) y la empresa Southern Perú Cooper Corporation (SPCC).

3.2.2 Regionalización

Para la regionalización o agrupación de estaciones se ha utilizado el método del vector regional (MVR) de índices pluviométricos.

3.2.3 Análisis de doble masa

Conjuntamente al método del vector regional se ha elaborado un análisis de doble masa. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Se han agrupado las estaciones según lo analizado en el MVR. Primer grupo: (parte alta) Tacalaya, Suches, Chuapalca, Qda. Honda, Challapalca y Vilacota. Segundo grupo: (parte media) Candarave, Cairani, Sitajara, Susapaya y Toquepala (también se incluye la estación Quebrada Honda).
- A continuación, se obtuvieron las precipitaciones totales anuales, por estación; luego se acumularon desde el año más reciente al más antiguo. Se consideró como años completos aquellos que cuentan con los valores de los 12 meses. Para los años faltantes se completó con el promedio multianual.
- Se realizó un promedio de los valores acumulados para obtener una estación “patrón”. A continuación, se realizaron gráficas X-Y, en donde el eje X corresponde al acumulado de la estación patrón y en el eje Y se ubica el acumulado de cada estación del grupo. A la hora de comparar cada estación con el patrón se tuvo cuidado de no considerar a la estación en análisis dentro del promedio.

Tabla 5: Estaciones pluviométricas dentro y fuera de la cuenca Locumba

Estación	Cuenca	Código	Norte	Este	Altitud	Periodo	Fuente
Ite	Locumba	19101106	8025000	292000	150	1965 - 2013	SENAMHI - Tacna
Sama	Sama	19111100	8032674	342105	532	1964 - 2006	SENAMHI - Tacna
Ilabaya	Locumba	19101107	8071200	339500	1425	1964 - 2006	SENAMHI - Tacna
Curibaya	Locumba	19101108	8078000	363800	2350	1964 - 2005	SENAMHI - Tacna
Sitajara	Sama	19111105	8075000	383200	3100	1964 - 2006	SENAMHI - Tacna
Cairani	Locumba	19101109	8088132	355176	3205	1964 - 2012	SENAMHI - Tacna
Susapaya	Sama	19111106	8080500	380500	3399	1964 - 2010	SENAMHI - Tacna
Candarave	Locumba	19101102	8092800	368000	3415	1964 - 2013	SENAMHI - Tacna
Toquepala	Locumba	1910110t	8088920	326600	3650	1952 - 2014	SPCC
Qda.Honda	Locumba	19101105	8100400	341300	4200	1966 - 2014	SPCC
Chuapalca	Maure	19151101	8081609	430940	4250	1964 - 2010	SENAMHI - PET
Challapalca	Maure	19151102	8095700	418800	4250	1964 - 2010	SENAMHI - Tacna
Vilacota	Maure	19151103	8106000	392000	4390	1964 - 2012	SENAMHI - PET
Tacalaya	Locumba	19101104	8112000	352000	4400	1952 - 2014	SPCC
Suches	Locumba	19101103	8130900	352300	4452	1956 - 2014	SPCC
Vizcachas	Locumba	1910110c	8132670	373000	4625	1994 - 2010	Pet

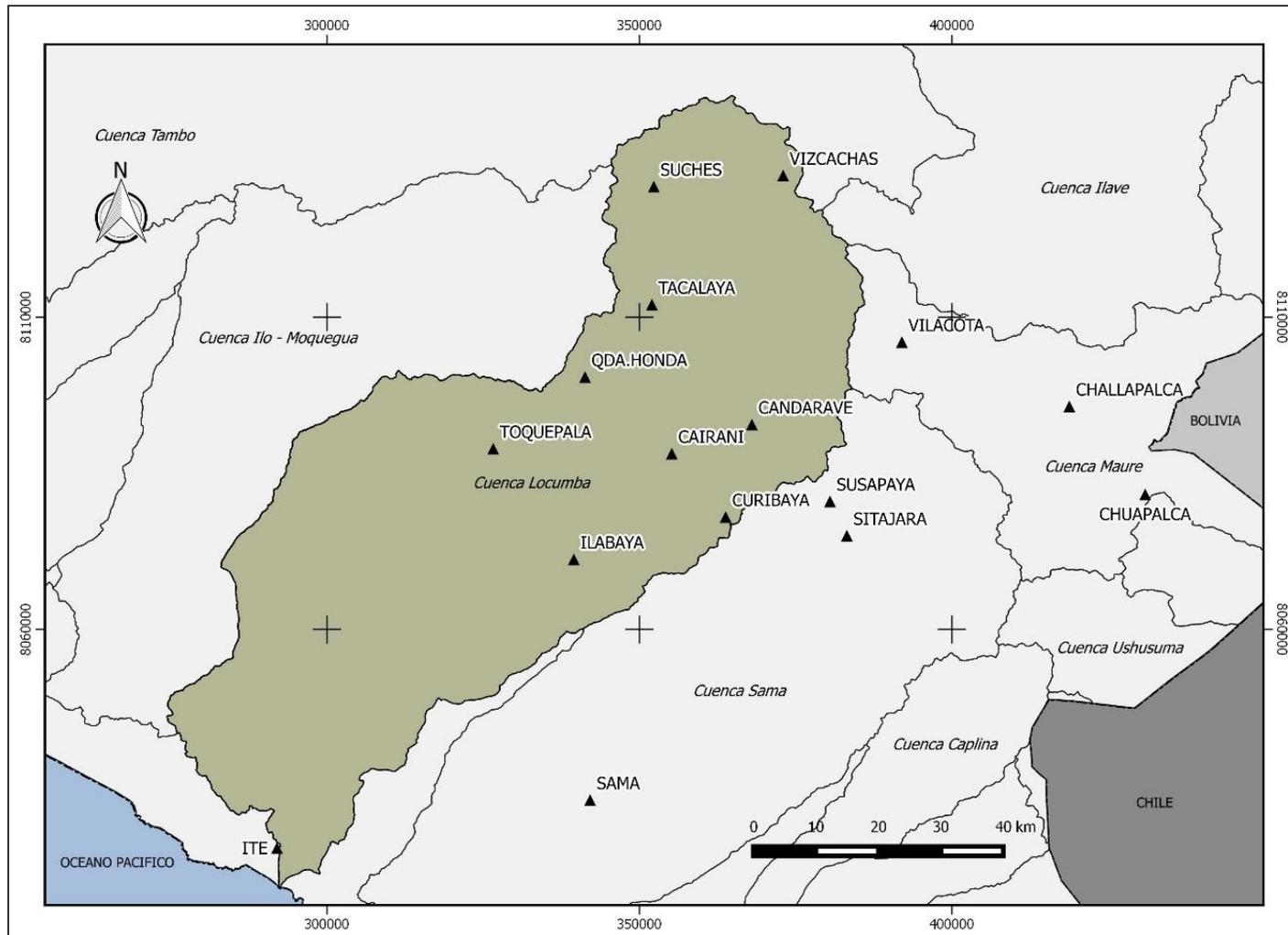


Figura 12: Mapa de estaciones meteorológicas

3.2.4 Extensión y completación de datos

Luego de haber realizado el análisis de consistencia a la información pluviométrica registrada se procedió a completar los datos para el periodo común 1966 – 2013 (48 años). Se utilizó el software Hec-4 del *US Army Corps of Engineers*. Las series completas se muestran en el ANEXO 1.

3.3 METODOLOGÍA

La metodología aplicada se basó en la recomendada por la OMM, pero adaptándola a la realidad del país (Figura 13).

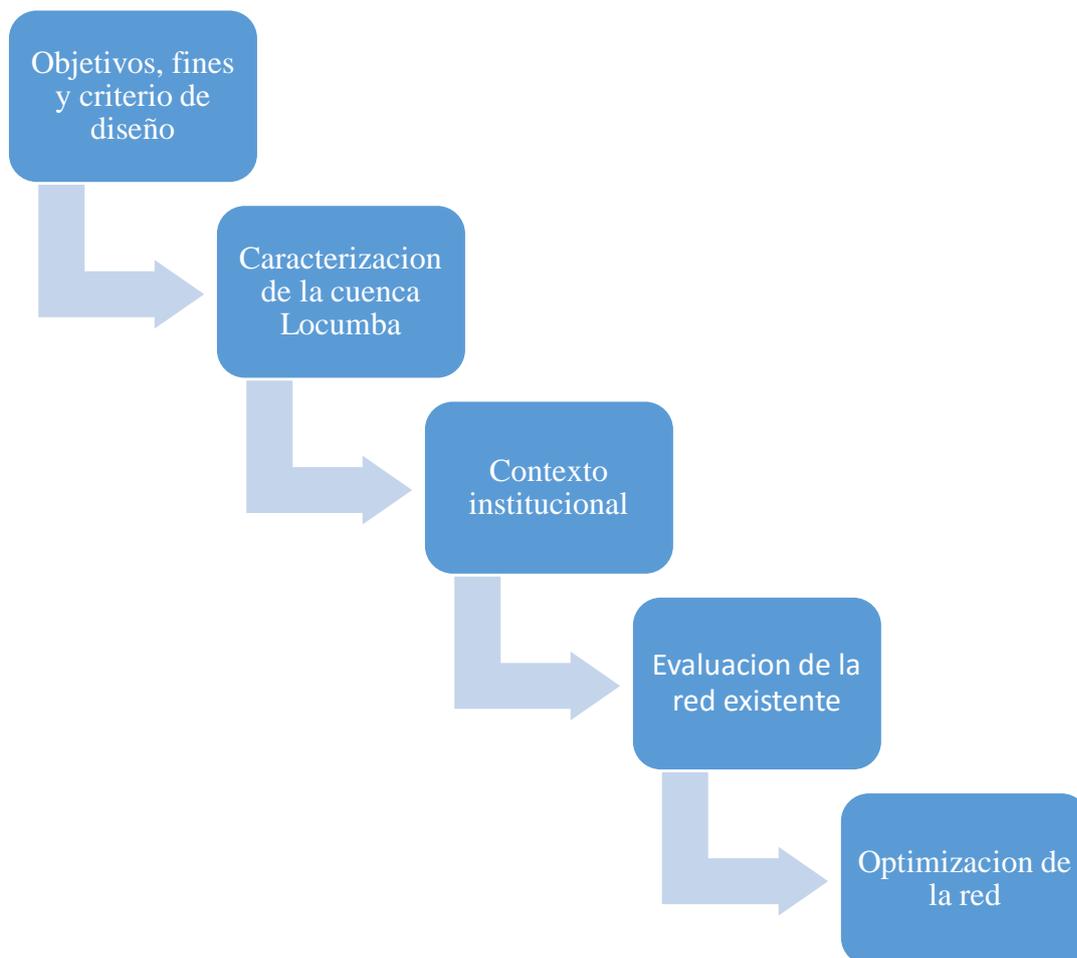


Figura 13: Metodología aplicada

3.3.1 Caracterización de la cuenca Locumba

Primero se procedió a delimitar la divisoria de agua de la cuenca a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) proveniente del satélite Advanced Land Observation Satellite (ALOS), también llamado Daichi, perteneciente al Japón. La resolución es de 12.5 m x 12.5 m. El proceso de delimitación se realizó con el software arcGIS y su extensión ArcHydro.

Se analizó la geomorfología, cobertura vegetal, pendiente, condiciones climáticas y precipitación.

3.3.2 Evaluación de la red existente

La evaluación de la red pluviométrica toma en cuenta la distribución espacial de las estaciones en toda la superficie de la cuenca, analizando su ubicación respecto al clima, zonas pobladas, influencias geomorfológicas.

Así mismo, como paso previo se realizó el inventario de estaciones.

a. Estaciones existentes

La verificación y estado de estaciones se realizó tomando como base las fichas de inventario del SENAMHI, estas se mejoraron para el propósito del presente estudio. En la Tabla 6 se puede observar la ficha que se utilizó.

Los datos principales para la ubicación de las estaciones se obtuvieron de información directa del SENAMHI y PET, las cuales utilizan con fines administrativos. Cada estación activa cuenta fichas que las van actualizando de manera sistemática.

Se han inventariado tanto las estaciones pluviométricas como las meteorológicas dentro de la cuenca Locumba; administradas por entidades estatales, tales como el SENAMHI y Proyecto Especial Tacna (PET) y privadas, como la empresa Southern Perú Cooper Corporation (SPCC).

b. Análisis espacial de la red

Para el análisis espacial de la red se estudió la distribución espacial, densidad tanto a nivel de cuenca como por zonas geográficas utilizando el método de los polígonos de Thiessen; y la distribución altitudinal de las estaciones.

Tabla 6: Ficha utilizada en el inventario de estaciones meteorológicas

<i>FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA</i>				
DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN				Fotografía
Nombre de la Estación				
Código de la Estación				
Vertiente				
Río				
Cuenca del río				
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)				
Ubicación geográfica				
Condición (Operativa/No Operativa)				
Periodo de Operación				
Entidad Responsable				
Nombre del Observador				
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN				
Tipo				
Dimensiones				
Estado de Conservación				
Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro				
Estación automática				
Tanque de evaporación				
Heliógrafo				COMENTARIOS Y OBSERVACIONES
Veleta				
Caseta meteorológica				
T. Bulbo seco				
T. Bulbo húmedo				
Termohigrógrafo				
T. Mínima				
T. Máxima				
Variables de Medición				
Observaciones				
Representatividad				

3.3.3 Optimización de la red

El proceso de optimización de la red, toma en cuenta todos los factores antes analizados. En este ítem se consideró la información histórica y aplico un método estadístico.

Teniendo en cuenta la información disponible se optó por aplicar el método de Kagan para la optimización de la red.

Cabe indicar que se utilizaron tanto estaciones meteorológicas como pluviométricas.

Algunos puntos que se utilizó para la correcta aplicación de este método a una cuenca del Pacífico peruano fueron los siguientes:

- El análisis se realizó en la parte húmeda y semi húmeda de la cuenca donde se desarrollan las precipitaciones. La estación con cota más baja es a los 3205 msnm
- Se utilizó datos medios mensuales, debido a que no se contaba con suficiente data diaria.
- Debido a que el régimen de precipitación de la cuenca Locumba es bimodal con presencia de lluvias de diciembre a marzo, se eliminaron los otros meses donde había valores cercanos a cero que alteraría los resultados.

Después del análisis de consistencia se seleccionó siete estaciones que cuentan con datos suficientes

Tal como se describió en el marco teórico este método trabaja con todos los datos de las estaciones buscando una función de correlación que dependerá de la distancia entre ellas y la relación entre los valores de precipitación de cada una. Ver ecuación 6.

Una vez determinado el número de estaciones optimas se debe ubicar estas dentro de la cuenca, para tal tarea se ha utilizado un software de análisis geográfico. De acuerdo a los cálculos del método de Kagan se ha determinado un radio de influencia de cada estación.

Mediante la herramienta Buffer del software se ha observado las zonas actuales monitoreadas por las estaciones. Seguidamente se ubicaron las nuevas estaciones para cubrir la mayor área de la cuenca, especialmente en la parte alta donde se producen las mayores precipitaciones (Figura 14).

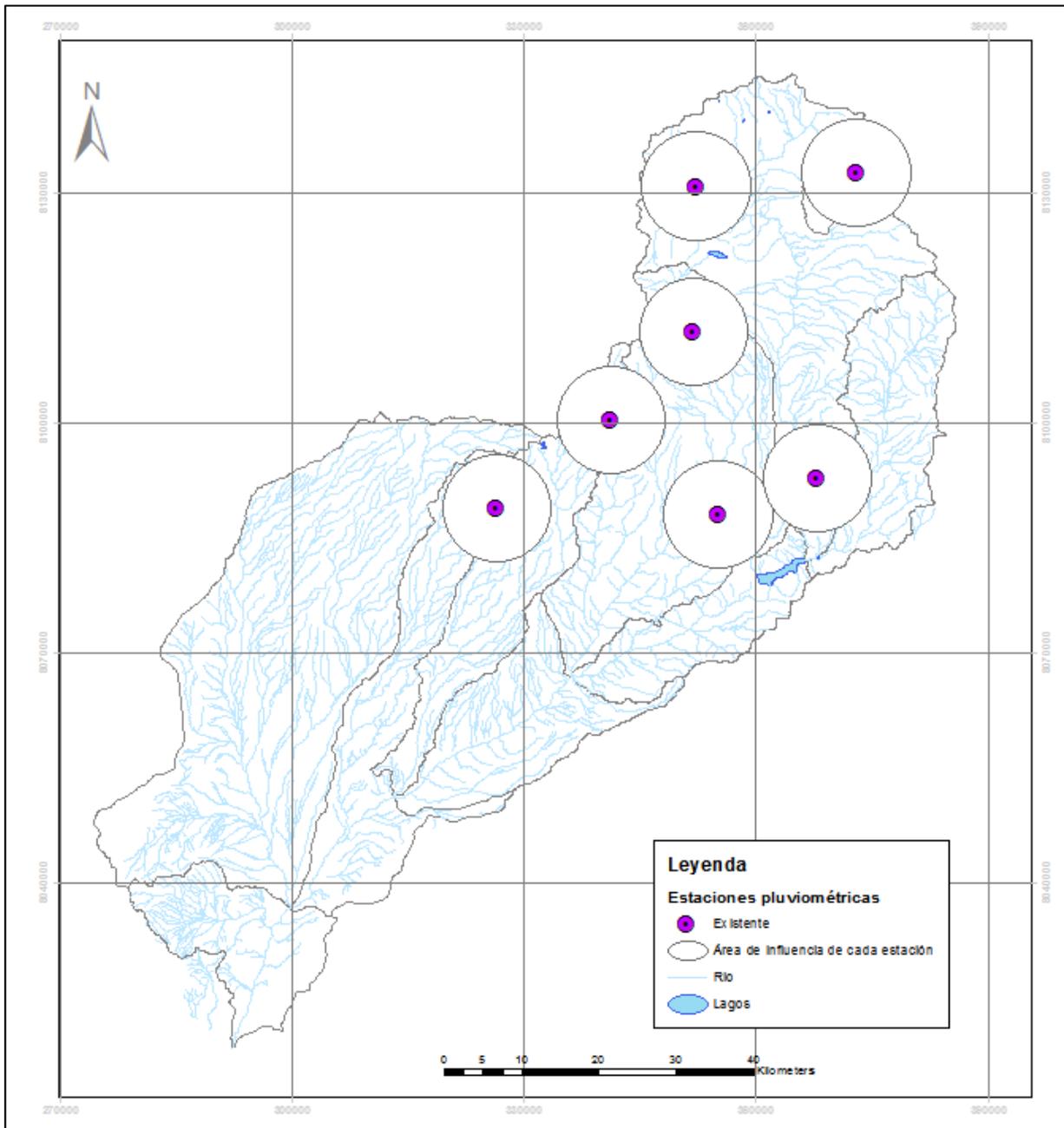


Figura 14: Ubicación y área de influencia de estaciones actuales

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA LOCUMBA

3.4.1 Caracterización de la cuenca

a. Geomorfología

La cuenca del río Locumba, tiene un área total de 5800 km² de los cuales el 29 por ciento (1661 km²) corresponden a la cuenca húmeda tomando a partir de los 4000 m.s.n.m.; es decir, el 29 por ciento del área total corresponde al escurrimiento superficial. Para definir el límite de la cuenca húmeda, se tomó el criterio de la Isoyeta 250 mm, propuesta por el Ing. Charles W. Sutton, quien estableció que, para cuencas peruanas, se podría admitir que lluvias de hasta 250 mm/año.

La Figura 15 se elaboró tomando en cuenta los rangos de la Tabla 7, observándose la parte intermedia de la cuenca donde se la altitud aumenta en distancias más cortas formando una barrera entre la parte alta y baja de cuenca.

Tabla 7: Rango de altitudes

Clase	Clasificación Holdridge	Altitud (msnm)	
		Límite inferior	Límite superior
A1	Basal	0	1000
A2	Pre montano	1000	2000
A3	Montano bajo	2000	3000
A4	Montano	3000	4000
A5	Sub alpino	4000	5000
A6	Alpino	5000	6000
A7	Nival	6000	7000

FUENTE: ONERN (1976)

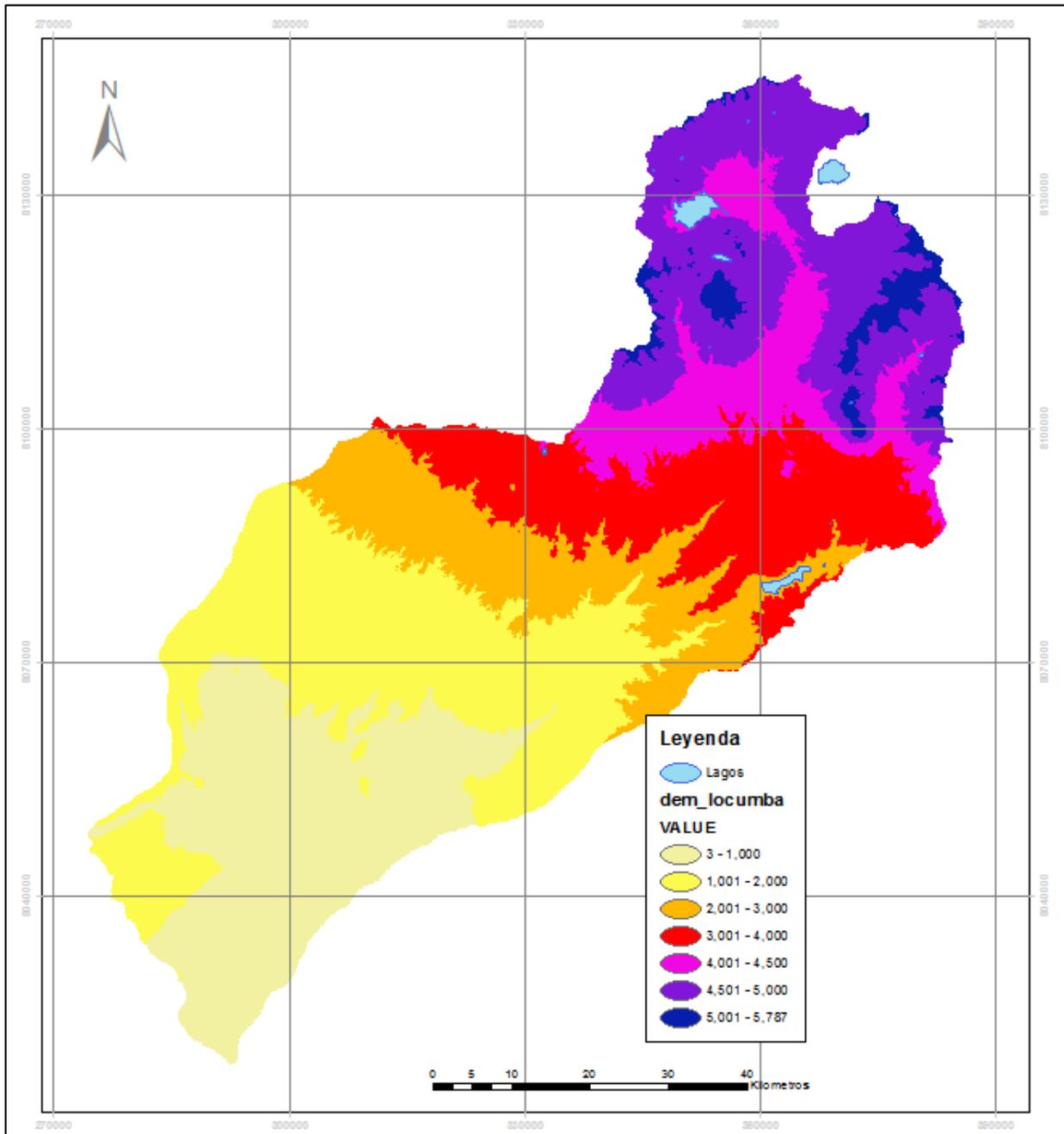


Figura 15: DEM de la cuenca Locumba

Sus cauces principales son los ríos Callazas, Curibaya, Salado y Locumba, los cuales han formado valles estrechos a lo largo de la cuenca. Está conformada por las siguientes unidades geomorfológicas: la región costanera en el litoral de la cuenca, la región sub andina donde se inician las montañas, las estribaciones de los Andes, con las montañas pronunciadas con alta pendiente, la cadena volcánica que tiene al volcán Yucamani y Tutupaca como los principales; y el altiplano en la parte alta de la cuenca. La variación altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 5815 m.s.n.m. (Figura 16)

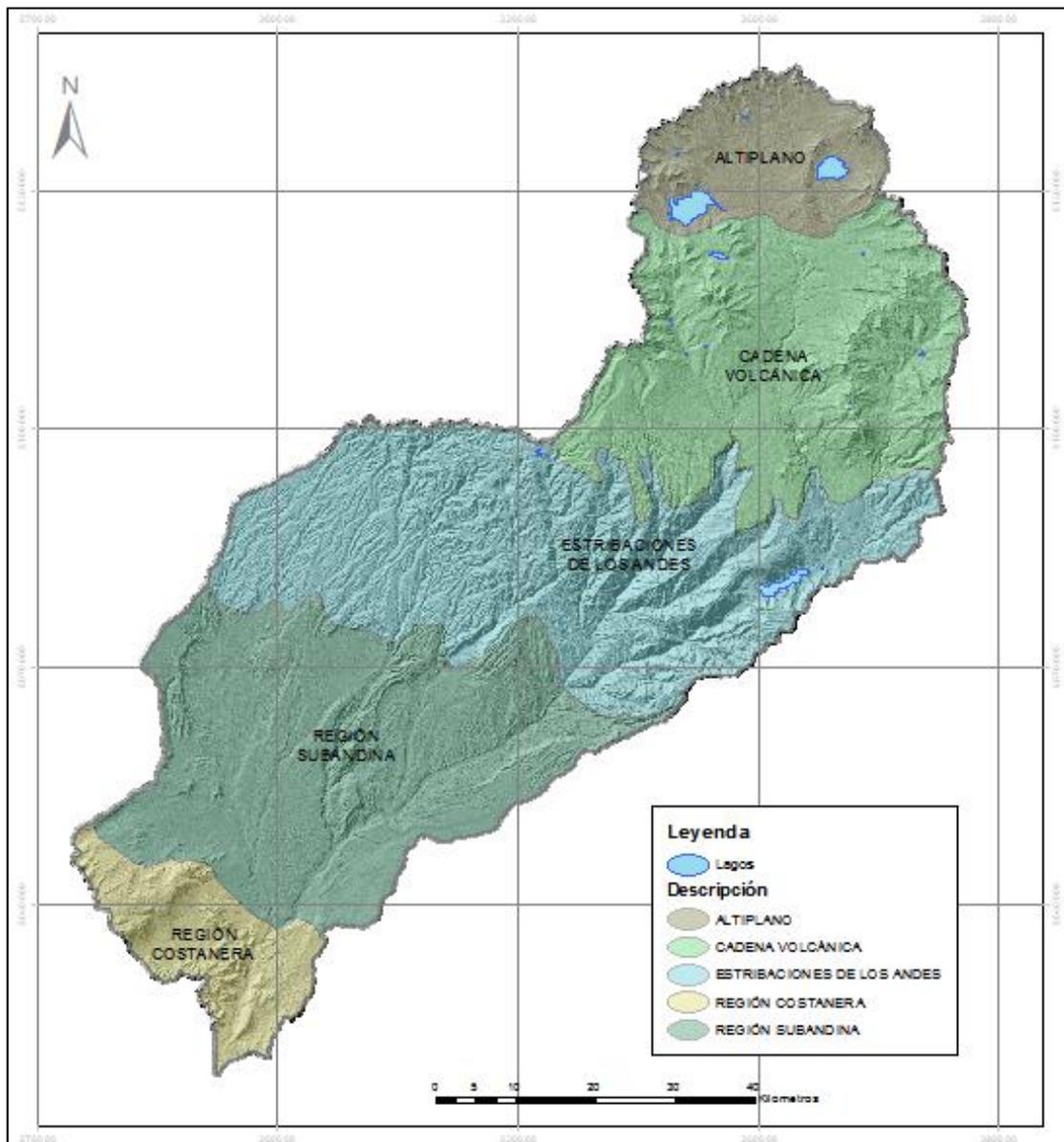


Figura 16: Geomorfología cuenca Locumba

La cuenca va desde 0 a 5787 msnm que muestra planicies en la parte baja, mesetas en la cuenca alta, y cauces profundos en la cuenca media. Esto es importante por la alta correlación entre la altitud y las variables de precipitación y temperatura.

Con la pendiente se puede determinar el tiempo que demora la escorrentía superficial hasta confluir en los diferentes ríos que conforman la red de drenaje de una cuenca. De este enunciado se puede deducir que la pendiente condiciona en buena manera la velocidad de flujo y la distribución y grado de infiltración del agua de lluvia sobre el terreno. Asimismo, este factor tiene incidencia en la erosión de suelo y el transporte de sedimentos. En la Tabla

8 se indica el rango propuesto para la clasificación de la pendiente en la cuenca en estudio (Figura 17).

Tabla 8: Rango de pendientes

Clase	Clasificación	Pendiente (%)	
		Límite inferior	Límite superior
S1	Baja	0	20
S2	Media	20	35
S3	Alta	35	>35

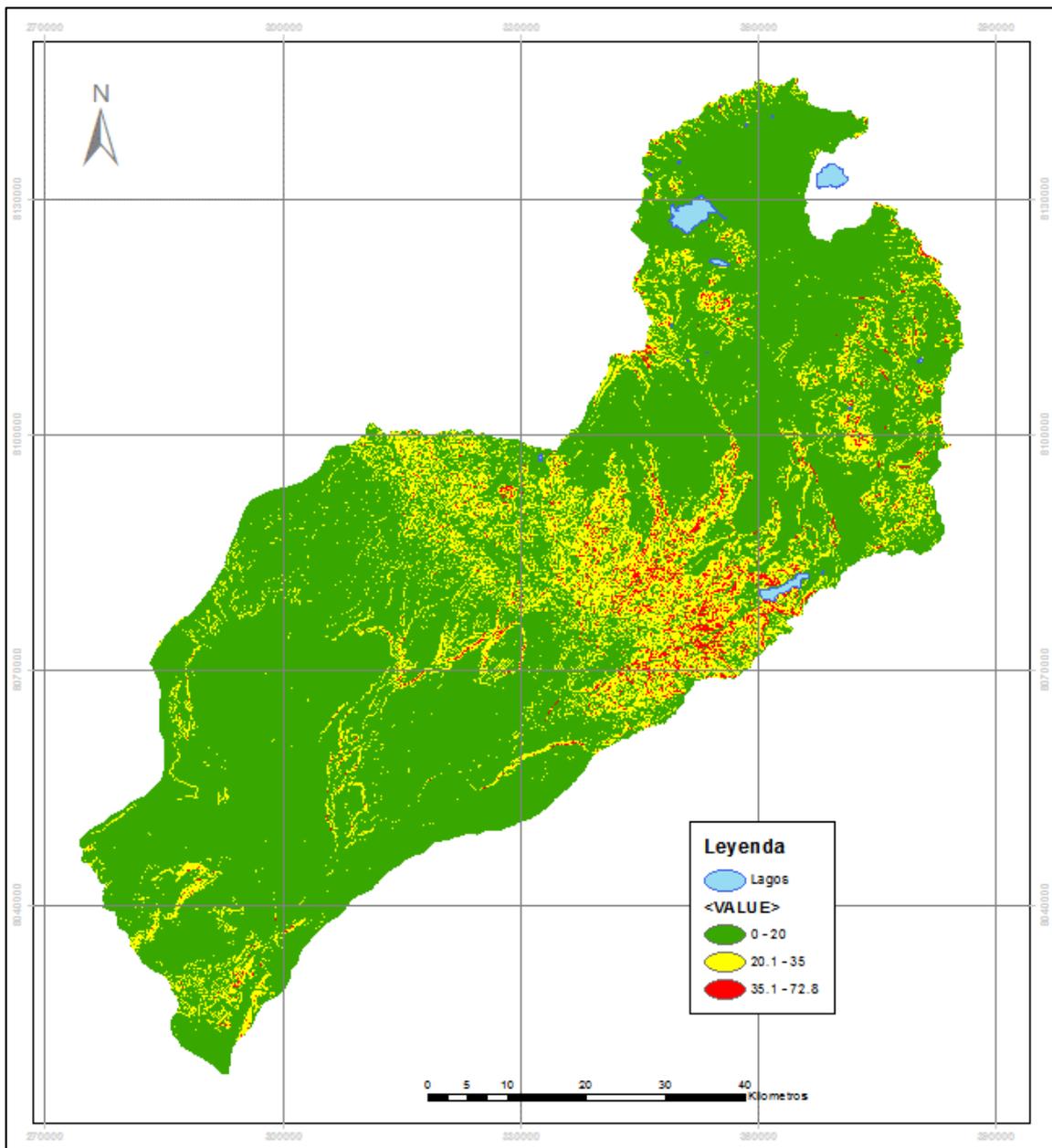


Figura 17: Mapa de pendientes

b. Cobertura vegetal

El mapa de cobertura vegetal se extrajo del mapa elaborado por el Ministerio de Ambiente (Figura 18). Se observa la predominancia de la planicie costera en toda la parte baja de la cuenca, y matorrales andinos en la cuenca media. En la cuenca alta esta mayormente cubierto de pajonal de césped de puna, en las montañas por tierras alto andinas con vegetación escasa o sin vegetación. También es importante la presencia de bofedales en toda la zona alta de la cuenca, que evidencia la presencia de aguas subterráneas (Tabla 9).

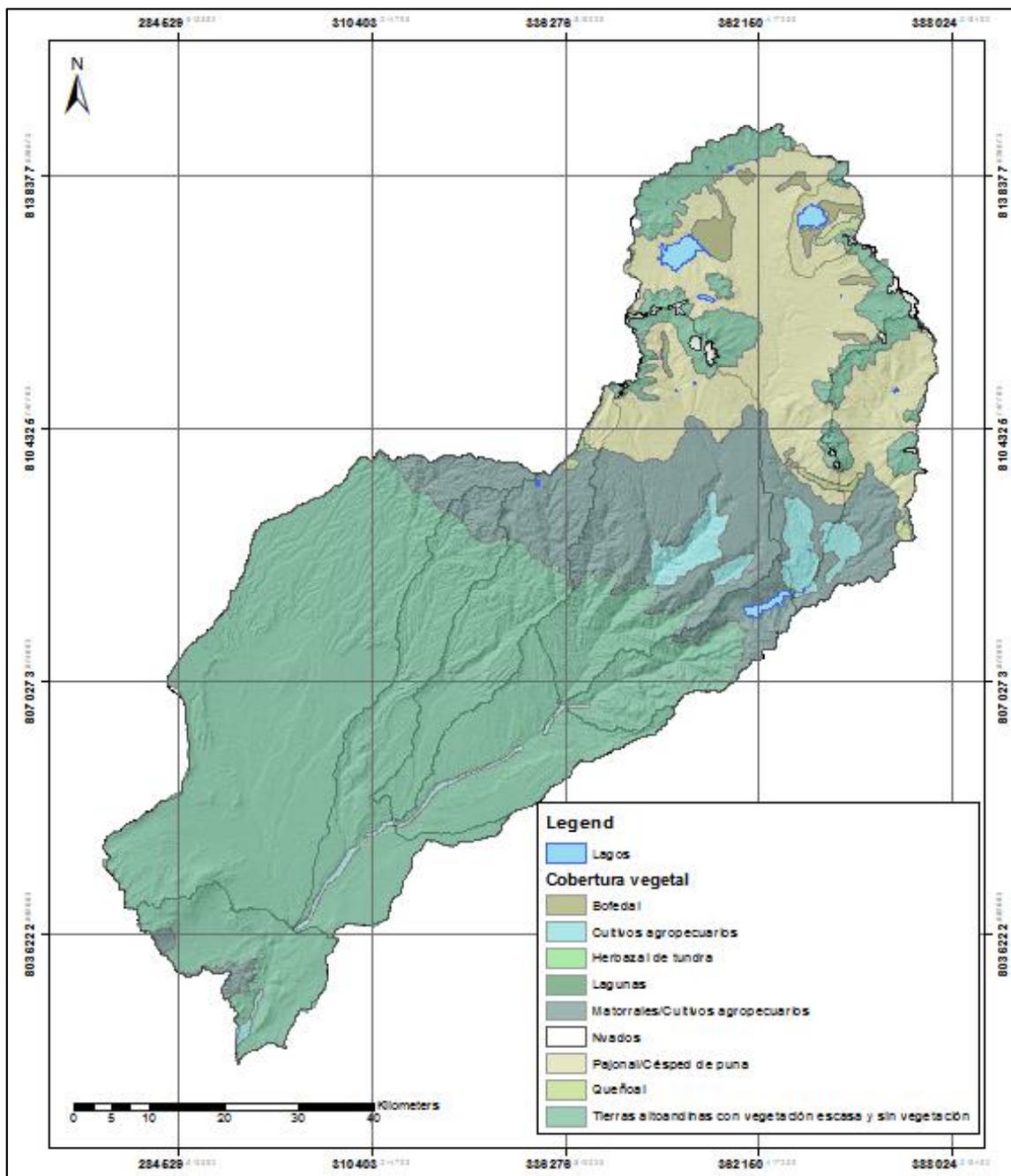


Figura 18: Mapa de cobertura de vegetal

Tabla 9: Cobertura vegetal en el área de estudio

Código	Descripción
Al E/Sv	Tierras alto andinas con vegetación escasa o sin vegetación
Bo	Bofedal
Cuap	Cultivos agropecuarios
Ht	Herbazal de tundra
Lag	Lagunas
Ma/Cuap	Matorrales/ cultivos agropecuarios
Nv	Nevados
Pj/Cp	Pajonal/ césped de puna
Pl ce Sv	Zona desértica con escasa vegetación
Q	Queñoal

3.4.2 Condiciones climáticas

Debido a su ubicación en la parte sur del país, el clima predominante es árido. Su variabilidad se debe principalmente a:

- Diferentes altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 5000 m.s.n.m.
- Orientación con respecto a la cordillera occidental de Los Andes.
- La frialdad del mar peruano debido a la corriente de Humboldt.

La temperatura es de 21 °C, entre enero y marzo, y un valor mínimo de 15 °C, entre junio y agosto, por debajo de los 1200 msnm. En la parte alta, la máxima es de 14°C y llega a -10°C en invierno. En la Figura 19, se observa la variación de temperatura a lo largo del perfil del cauce principal de la cuenca.

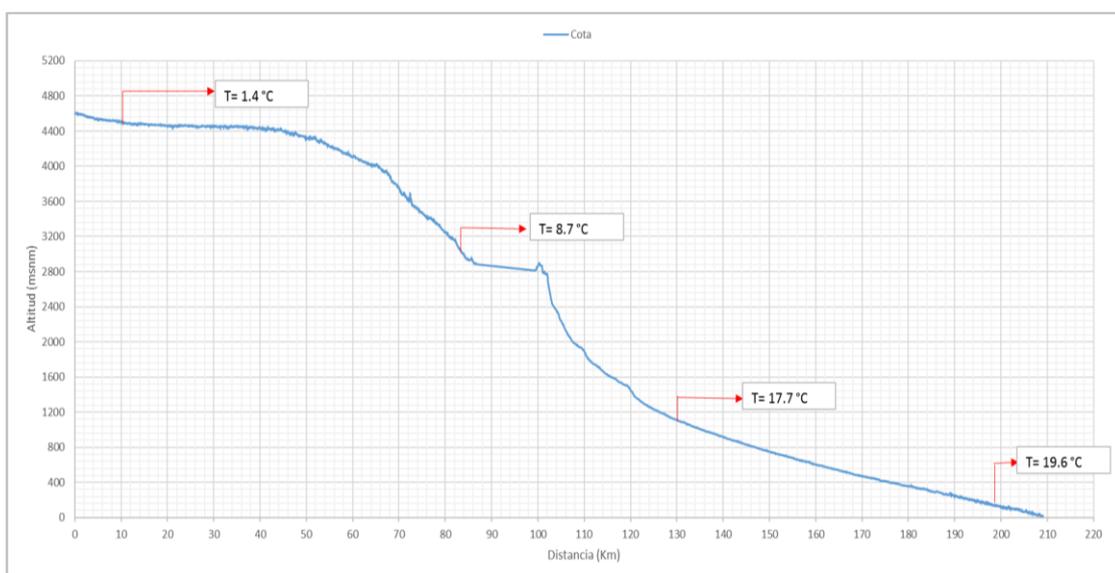


Figura 19: Variación de temperatura media en relación a la altitud

3.4.3 Análisis de distribución espacial y temporal de la precipitación

a. Distribución espacial de la precipitación

La precipitación se diferencia en dos zonas; la cuenca seca, con un promedio de 10 mm anual, y la cuenca húmeda, en la parte alta, con un promedio de 450 mm anual (Figura 20).

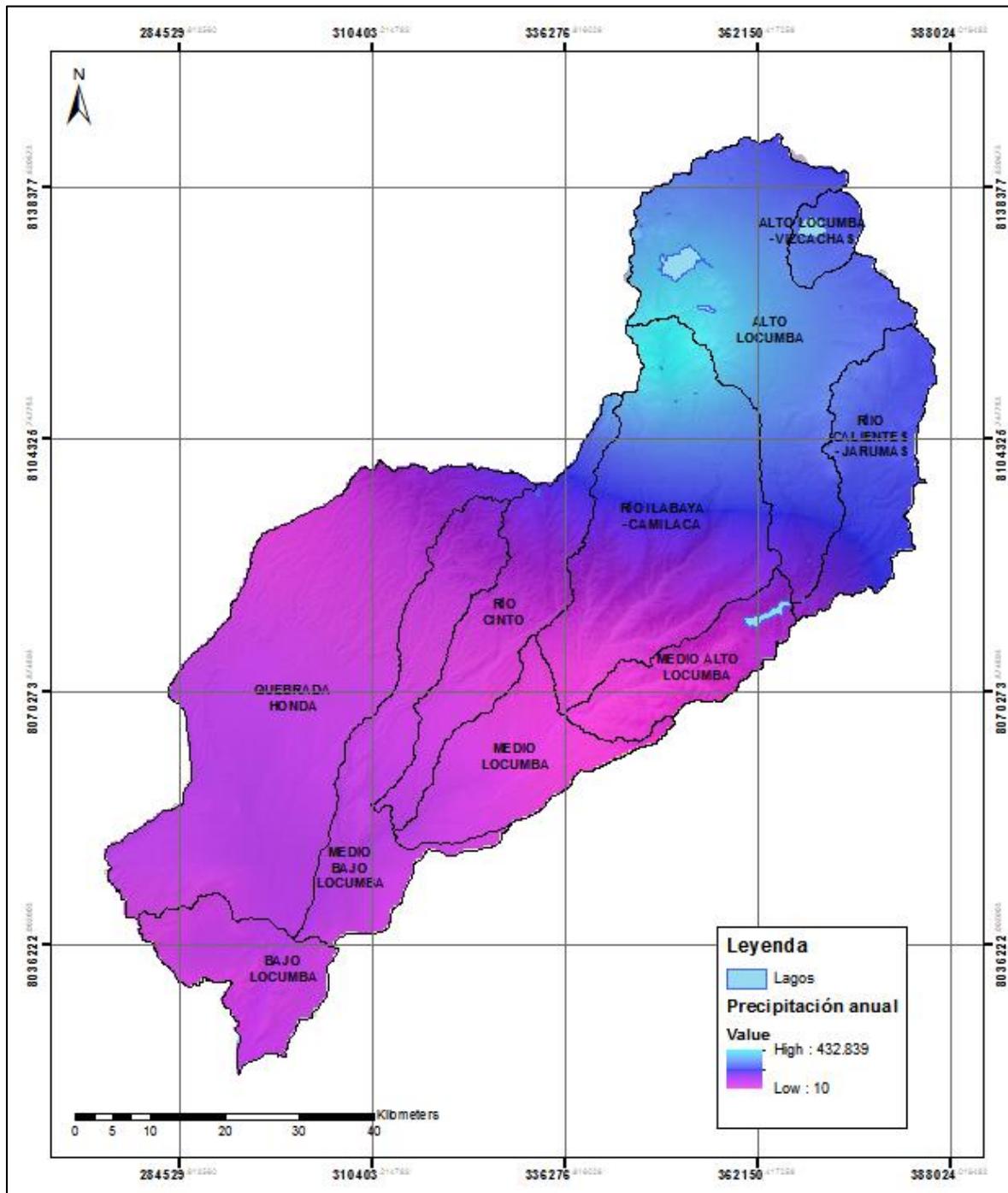


Figura 20: Mapa de isoyetas

b. Análisis precipitación – altitud

La Figura 21, muestra que la precipitación aumenta con la altitud, lo que pone en evidencia una precipitación del tipo orográfica o convectiva forzada; este análisis fue realizado a nivel de valores anuales y muestra un régimen general, pero en la cuenca pueden observarse eventos extremos de precipitación de media intensidad y media duración, como las lluvias de entre 22 y 26 de marzo del 2015; y el 7 de enero del 2019, las cuales responden más a un evento meteorológicos específicos que pueden ocasionar lluvias exclusivas en la parte baja o media de la cuenca sin llegar a la parte alta.

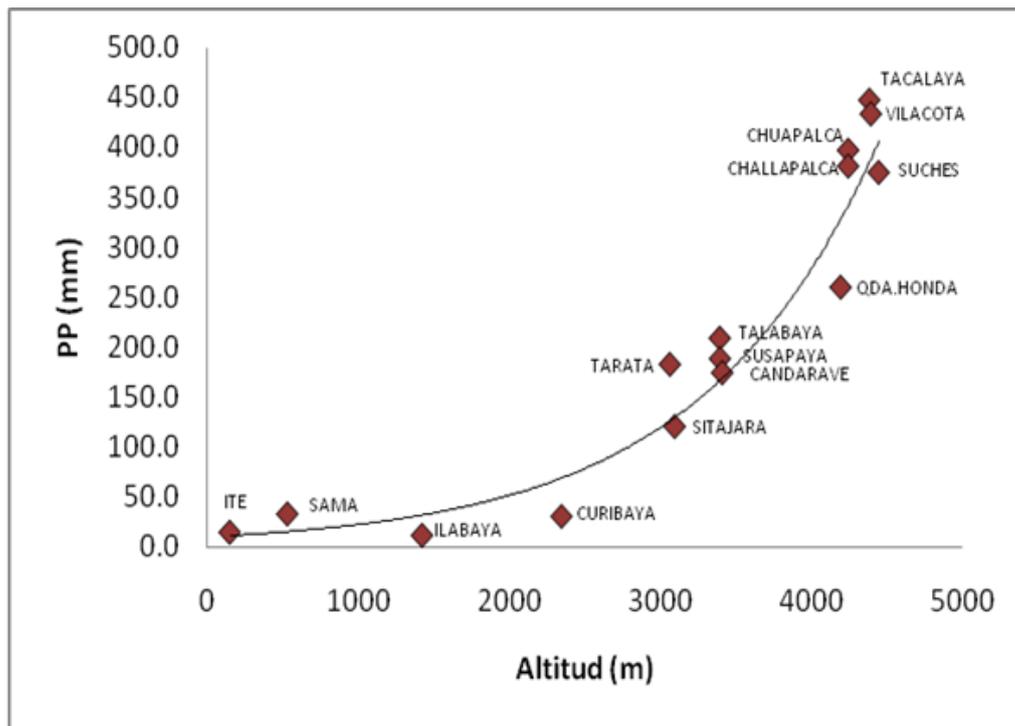


Figura 21: Relación precipitación-altitud

c. Distribución temporal de la precipitación

Las variaciones estacionales son oscilaciones que se producen, y repiten, en períodos de tiempo cortos (días a meses) a diferencia de los ciclos que son más largos (años), para la zona de estudio se tiene dos periodos bien marcados que son la estación húmeda y la estación seca (Figura 22). La estación húmeda corresponde principalmente a diciembre, enero, febrero y marzo y la estación seca a mayo, junio, julio y agosto; los otros meses son considerados de transición.

De la Tabla 10 se puede concluir que entre el 85 al 95 por ciento (dependiendo de la estación) de la precipitación ocurre en diciembre, enero, febrero y marzo.

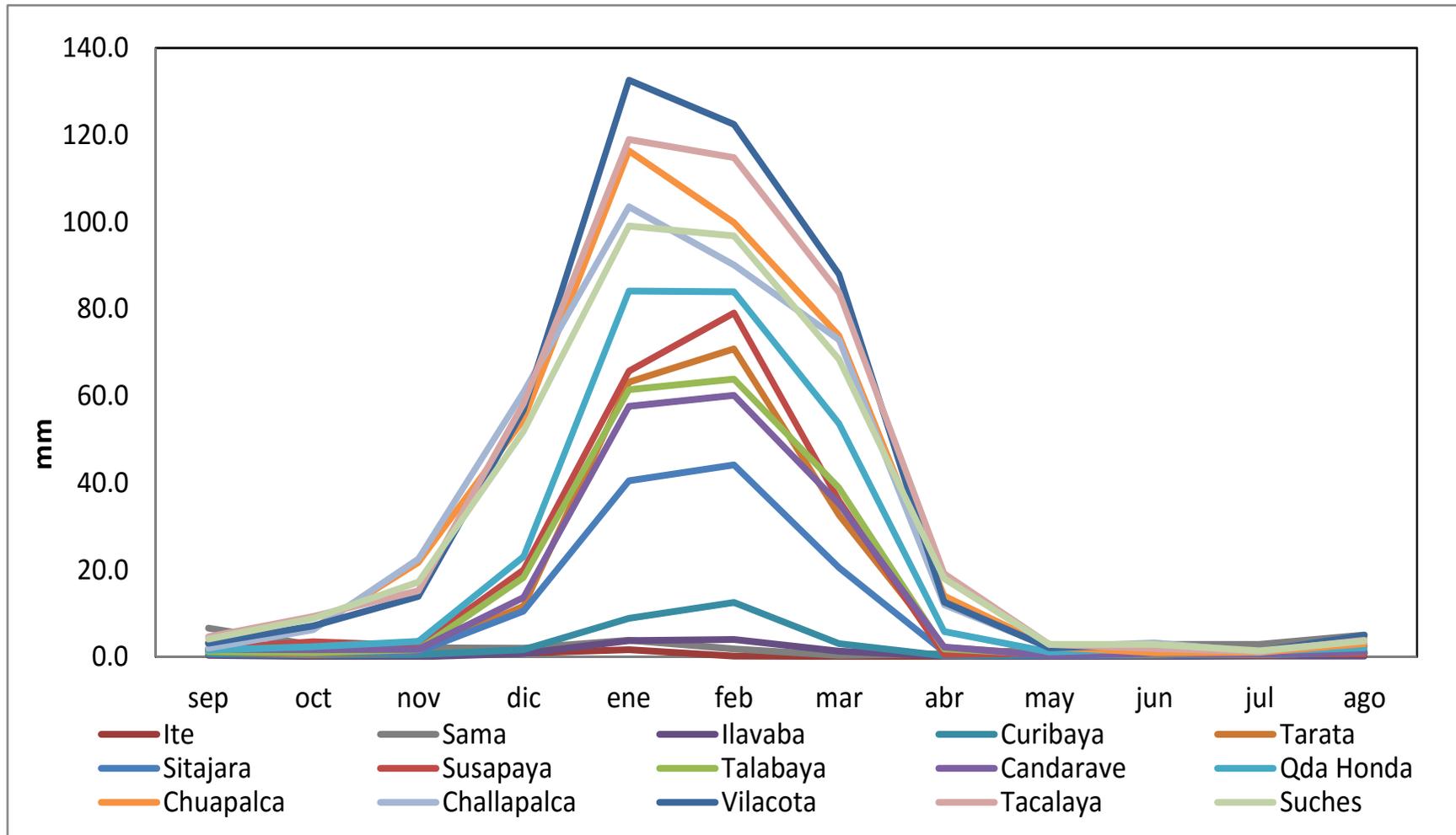


Figura 22: Distribución temporal de la precipitación – año hidrológico

Tabla 10: Distribución mensual de la precipitación

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	DEFM	AMJJ	ASON
Ite	1.7	0.2	0.1	0.1	0.6	0.8	2.3	2.3	3.1	1.3	0.5	0.9	13.7	2.8	3.7	7.2
Sama	3.9	1.9	0.4	0.7	1.7	2.8	2.9	4.8	6.7	2.8	2.2	2.1	32.7	8.3	8.0	16.4
Ilabaya	3.8	4.1	1.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.8	11.1	10.1	0.4	0.6
Curibaya	9.0	12.8	3.1	0.3	0.3	0.4	0.5	1.0	0.7	0.5	0.5	1.8	30.9	26.7	1.6	2.6
Sitajara	39.2	40.9	20.1	0.9	0.1	0.4	0.7	0.7	1.2	0.7	1.2	14.3	120.3	114.4	2.1	3.7
Cairani	40.0	37.0	17.6	1.5	0.6	0.4	1.1	1.1	1.1	0.8	1.3	9.5	111.9	104.1	3.6	4.2
Susapaya	61.8	75.3	35.1	0.2	0.6	0.5	1.1	0.7	1.8	3.5	2.7	18.7	201.8	190.9	2.4	8.6
Candarave	57.7	59.9	35.9	2.3	0.3	0.8	0.8	1.2	1.3	1.7	1.7	12.8	176.4	166.3	4.2	5.9
Toquepala	36.0	34.5	20.6	4.6	0.4	0.6	0.2	0.7	0.6	0.8	2.6	18.4	119.9	109.4	5.7	4.8
Qda.Honda	84.5	80.6	55.9	5.8	1.3	1.6	1.1	1.8	1.2	1.9	2.6	21.7	260.0	242.7	9.7	7.6
Chuapalca	117.4	98.9	71.6	14.7	2.4	0.9	1.1	3.0	2.2	6.7	21.7	57.0	397.5	344.9	19.1	33.6
Challapalca	99.5	80.2	67.0	11.0	2.3	3.2	1.1	4.5	1.7	6.1	20.8	63.7	361.1	310.3	17.7	33.1
Vilacota	133.8	127.4	88.9	11.6	2.2	1.6	1.1	4.1	2.7	7.0	12.2	57.0	449.6	407.1	16.5	26.0
Tacalaya	121.8	120.4	87.5	19.4	3.6	2.0	1.9	3.8	3.8	9.3	12.9	55.4	441.7	385.1	26.8	29.8
Suches	101.3	100.6	71.4	18.8	2.7	2.8	1.3	3.2	3.7	8.8	16.0	50.6	381.3	324.0	25.6	31.7
Vizcachas	113.3	114.1	76.7	17.4	1.4	0.5	1.9	8.9	1.9	11.3	14.9	69.4	431.6	373.5	21.3	36.9

3.5 EVALUACIÓN DE LA RED EXISTENTE

3.5.1 Estaciones existentes

En total se han inventariado 18 estaciones (ANEXO 2) de las 22 que se recopiló en la base de datos (Figura 23). En el ANEXO 3 se encuentra las fichas de las estaciones.

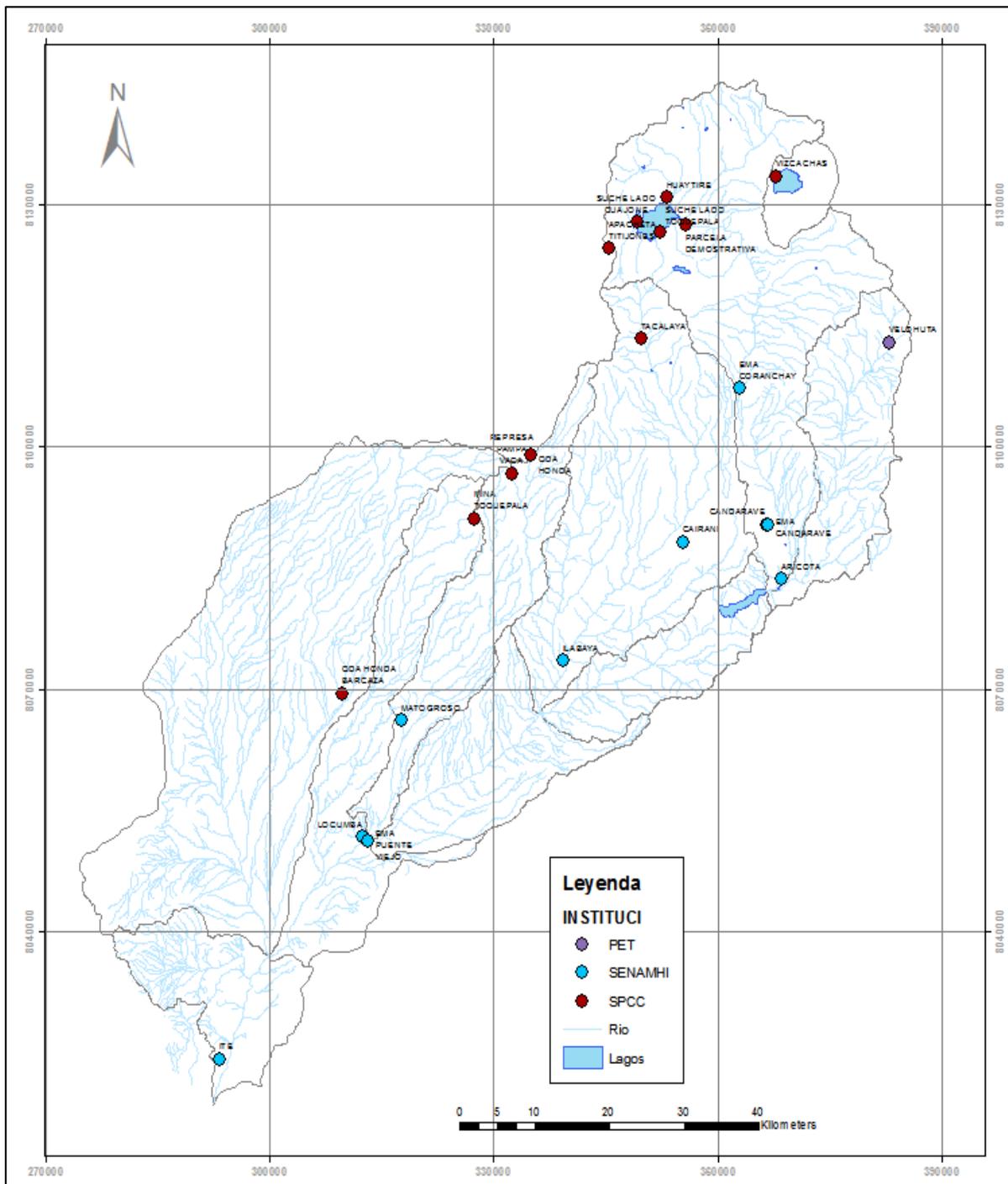


Figura 23: Estaciones según la institución que las administra

Si bien el número de estaciones parece suficiente, se debe resaltar que tres son automáticas del SENAMHI que instaladas el 2012, la estación del PET de igual manera, pues se instaló para la futura construcción de una presa en esa zona. No se tuvo acceso a las estaciones Toquepala, Quebrada Honda y Quebrada Honda Barcaza. Finalmente, la estación Matogroso ya no está en funcionamiento. En la Tabla 11 se presenta la descripción de cada estación inventariada.

Tabla 11: Evaluación de estaciones inventariadas

CÓDIGO	ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN
EM-1	ITE	<p>Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; heliógrafo, anemómetro y veleta.</p> <p>Buen estado de mantenimiento.</p> <p>El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están afectadas por el cerco y el efecto del suelo en general.</p>
EM-2	LOCUMBA	<p>Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; heliógrafo y veleta.</p> <p>Buen estado de mantenimiento.</p>
EM-3	ILABAYA	<p>Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; heliógrafo, anemómetro y veleta.</p> <p>Buen estado de mantenimiento.</p> <p>El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están afectadas por el cerco y del suelo en general.</p>
EM-4	ARICOTA	<p>Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; heliógrafo, anemómetro y veleta.</p> <p>Regular estado de mantenimiento.</p> <p>El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están influidas por el cerco y el efecto del suelo en general.</p>

... continuación

CÓDIGO	ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN
EM-5	CANDARAVE	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; heliógrafo, anemómetro y veleta. Buen estado de mantenimiento. El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están influidas por el cerramiento y el efecto del suelo en general.
EM-6	CAIRANI	Dispone de caseta meteorológica con termómetro, pluviómetro y tanque de evaporación. Regular estado de mantenimiento. Los equipos están protegidos únicamente con un cercado de madera artesanal, fácilmente traspasable por cualquier persona o animal. El tanque de evaporación no tiene agua y se encuentra en estado de oxidación.
EM-7	EHA CANDARAVE	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, veleta y anemómetro. Estación automática con transmisión satelital, panel solar. Buen estado de mantenimiento.
EM-8	EHA CORANCHAY	Dispone de pluviómetro. Estación automática con transmisión satelital y panel solar. Buen estado de mantenimiento.
EM-10	REPRESA PAMPA DE VACA	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; veleta y anemómetro. Estación automática sin señal satelital. Buen estado de mantenimiento.
EM-11	TACALAYA	Dispone de termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación y veleta. Estación automática. Buen estado de mantenimiento
EM-12	SUCHE LADO TOQUEPALA	Dispone de: caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro y veleta. Estación automática. Buen estado de mantenimiento.

... continuación

CÓDIGO	ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN
EM-13	SUCHE LADO CUAJONE	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; veleta y anemómetro. Estación automática. Buen estado de mantenimiento.
EM-14	APACHETA TITIJONES	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; veleta y anemómetro. Estación automática con suficiente área y pluviómetro a una buena altura. Buen estado de mantenimiento y suficiente área para los equipos.
EM-15	VIZCACHAS	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; veleta y anemómetro. Estación automática. Buen estado de mantenimiento.
EM-16	HUAYTIRE	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación; veleta y anemómetro. Estación automática. Buen estado de mantenimiento.
EM-17	PARCELA DEMOSTRATIVA	Dispone de caseta meteorológica con termómetro e higrómetro; pluviómetro, tanque de evaporación y lisímetro. Buen estado de mantenimiento.
EM-18	VELOHUTA	Dispone de caseta meteorológica, tanque de evaporación y pluviómetro. Aceptable estado de mantenimiento. Presenta un buen pluviómetro, a una altura adecuada y con buena separación entre equipos.
EM-19	EMA PUENTE VIEJO	Dispone de pluviómetro. Estación automática, con transmisión satelital. Buen estado de mantenimiento.

3.5.2 Tipo de estaciones

En la cuenca fueron encontradas estaciones: climatológicas convencionales, propósitos específicos y meteorológicas automáticas (Tabla 12 y Figura 24).

Tabla 12: Número de estaciones por tipo, categoría e institución

Institución	Meteorológicas automáticas	Climatológicas convencionales	Propósitos específicos
PET		1	
SENAMHI	3	6	1
SPCC	7	3	1
Sub total categoría	10	10	2
Total		22	

Del total de estaciones, la mayoría son automáticas y climatológicas ordinarias solo se encuentran dos con propósitos específicos.

De las 22 estaciones, 15 se encuentran en la zona húmeda, que son las utilizadas para la mayoría de estudios. De las 15 estaciones pluviométricas, solo siete tienen el registro histórico suficiente para ser utilizados en diferentes estudios.

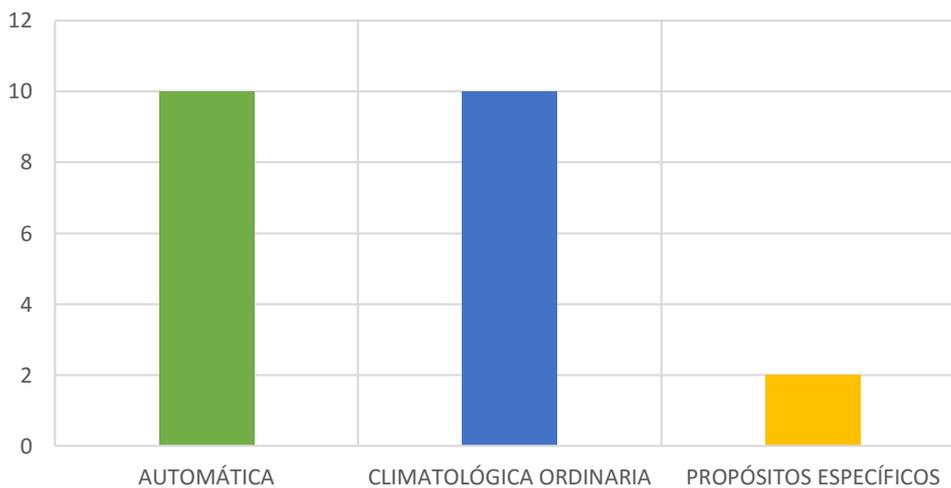


Figura 24: Estaciones meteorológicas por tipo y categoría

3.5.3 Análisis espacial de la red pluviométrica

a. Distribución espacial de las estaciones

Las estaciones meteorológicas están adecuadamente distribuidas tomando en cuenta las tres zonas; es decir, existe mayor número de estaciones en la parte húmeda (en promedio una por cada 160 km²). Sin embargo, esto no indica que la distribución espacial sea la idónea,

especialmente, en la parte alta y media de la cuenca, donde se presenta la mayor precipitación. Entre las principales estaciones, por su incidencia y ubicación, se encuentran la estación automática de Coranchay, la de Candarave y el conjunto de estaciones de SPCC (Figura 25). En la parte media de la cuenca Locumba, en la subcuenca Ilabaya, hay tres estaciones; mientras que en la parte baja se encuentran dos (Locumba e Ite).

Un criterio importante en el diseño de la red es la facilidad de los observadores para llegar al lugar y tomar los datos. Para la cuenca Locumba, la estación Coranchay es la que presenta mayor dificultad de acceso; las demás, se encuentran cercanas a pueblos y se accede a ellas por vías asfaltadas o trochas.

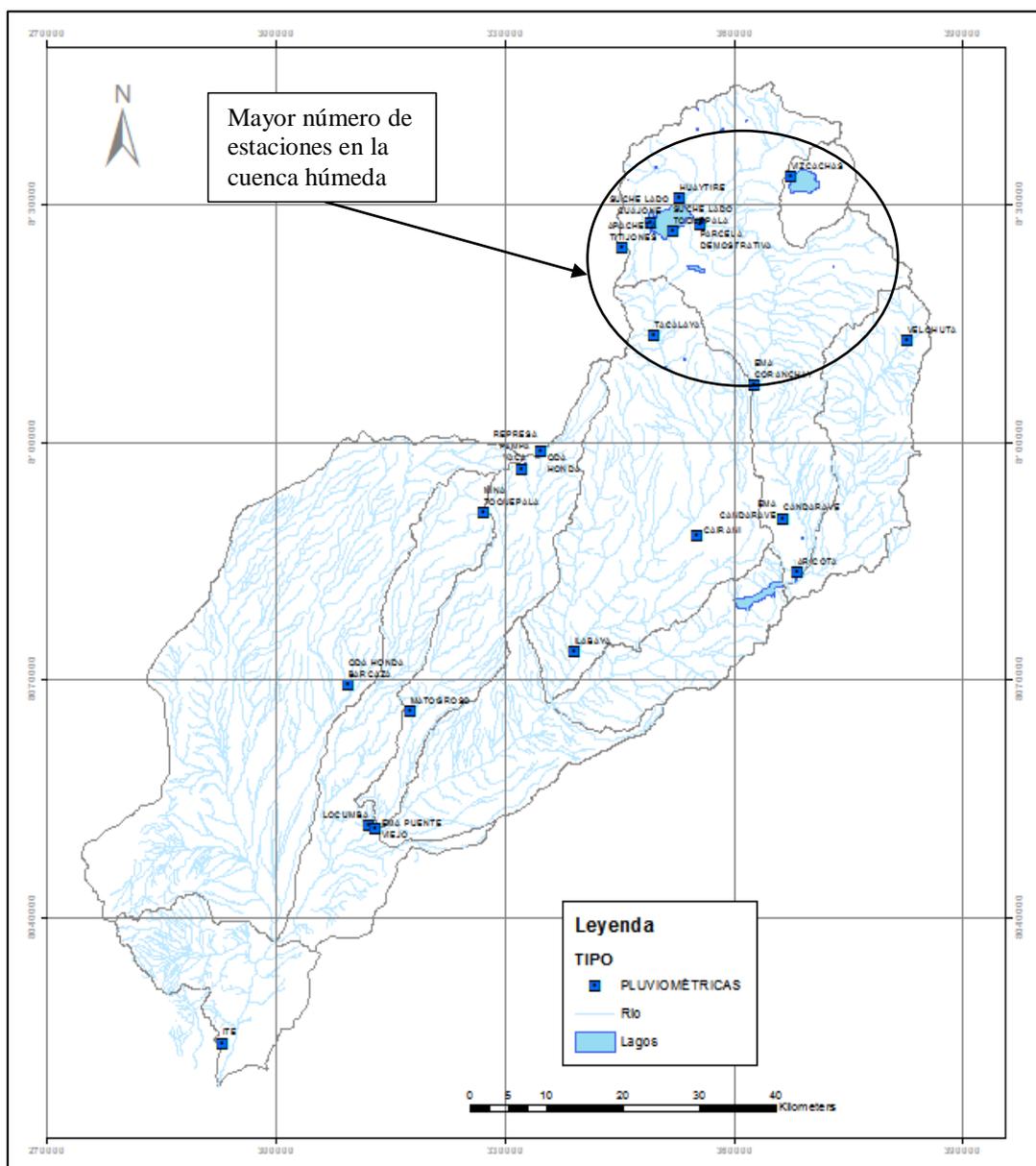


Figura 25: Distribución de estaciones pluviométricas cuenca Locumba

b. Densidad

Uno de los aspectos característicos principales en toda red de estaciones es la distribución de éstas a lo largo de la zona de estudio, límites geográficos, políticos, etc. Se analizó la densidad a partir del número de estaciones pluviométricas en la cuenca en relación a su superficie.

Según la OMM (2011b), la densidad de estaciones recomendable para una red mínima está dada por la Tabla 13. Así, la cuenca Locumba, que cuenta con un área de 5780 km², se dividió en tres zonas: costeras en la parte baja, montañosas en la parte media y llanuras interiores en la parte alta. De los cálculos, el número mínimo de estaciones meteorológicas para la cuenca Locumba sería de 14. La cuenca cuenta actualmente con 22, de modo que la densidad de la red de estaciones cumple con lo recomendado por la OMM.

Tabla 13: Densidad mínima de estaciones pluviométricas

Unidad fisiográfica	Densidad mínima por estación (superficie en km ² por estación)	
	Sin registro	Con registro
Zonas costeras	900	9000
Zonas montañosas	250	2500
Llanuras interiores	575	5750
Zonas escarpadas/ondulantes	575	5750
Pequeñas islas	25	250
Zonas urbanas		10 A 20
Zonas polares y áridas	10 000	100 000

FUENTE: OMM (2011b)

La densidad de la red de estaciones en la cuenca Locumba es claramente desigual, existiendo una mayor concentración en la parte alta de la cuenca (noreste), cerca de las lagunas Suches y Vizcachas y al río Callazas, coexistiendo con áreas de escasa densidad de cobertura como son las sub cuencas de la zona sur del ámbito de estudio.

Del análisis de la distribución de polígonos mediante el método de Thiessen se obtiene un área media de polígono de 307,06 km² por pluviómetro, con un valor mínimo de 30,2 km² y un máximo de 1006 km².

El valor medio del área del polígono de Thiessen es relativamente bajo debido a que la mayoría de estaciones están agrupadas en el rango de 200 a 400 km², tal como muestra la Figura 26; no obstante, también se aprecia una notable amplitud de rango, lo que indica una distribución poco equitativa espacialmente.

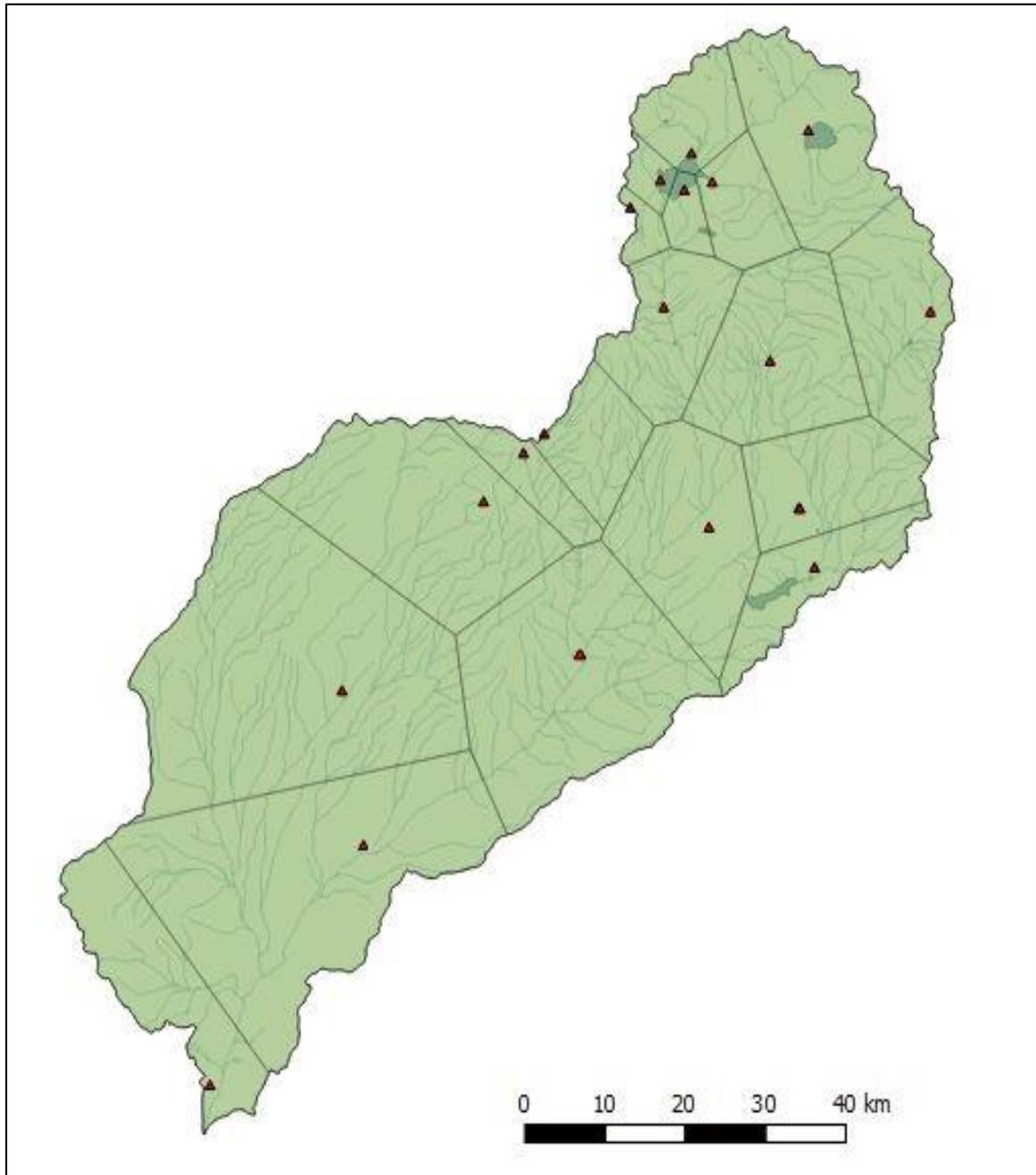


Figura 26: Mapa de densidad de pluviómetros con polígonos de Thiessen

La subcuenca con mayor cantidad de estaciones meteorológicas es Alto Locumba, en el río Callazas, con ocho estaciones y una densidad de 128 km² por estación. Otra subcuenca importante por estar en la zona húmeda es Ilabaya, que cuenta con tres estaciones y una

densidad de 311 km² por estación; igualmente, Calientes cuenta con una estación y una densidad de 382 km² por estación. La subcuenca del río Cinto tiene una parte húmeda donde existen dos estaciones operadas por el sector privado (Tabla 14).

Tabla 14: Estaciones meteorológicas por subcuenca

Subcuenca	Área (km ²)	n.º de estac	% área	% pluviómetros
Bajo Locumba	306	1	5.25	5
Medio Bajo Locumba	532.14	3	9.13	14
Medio Locumba	374	0	6.41	0
Medio Alto Locumba	274.81	0	4.71	0
Quebrada Honda	1463.04	1	25.09	5
Río Cinto	441.36	2	7.57	10
Alto Locumba	1030.4	9	17.67	43
Río Calientes - Jarumas	382.36	1	6.56	5
Río Ilabaya - Camilaca	934.63	3	16.03	14
Alto Locumba - Vizcachas	92.28	1	1.58	5
Total	5831.02	21	100	100

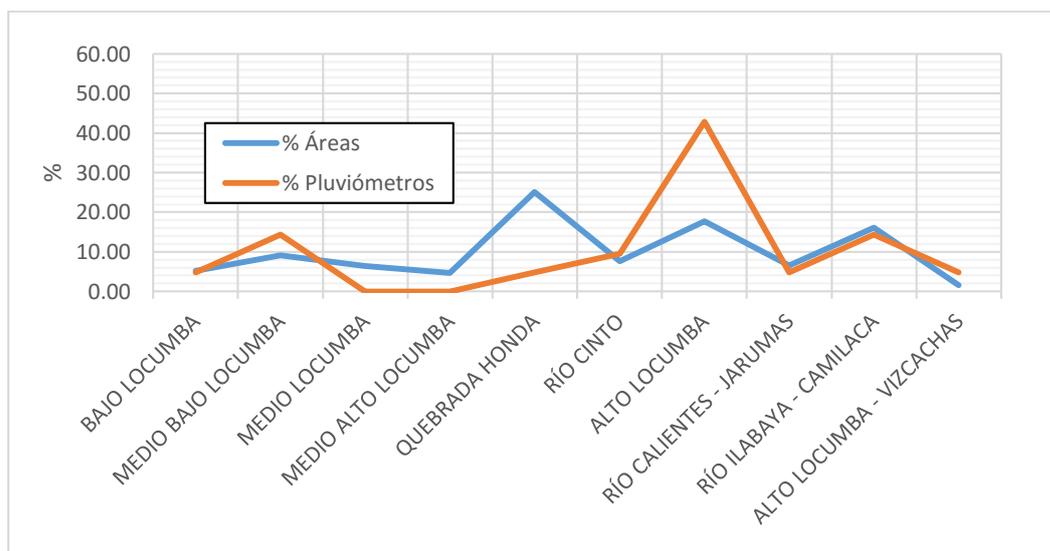


Figura 27: Distribución porcentual de estaciones meteorológicas y áreas por subcuencas

El mayor número de estaciones están en la subcuenca Alto Locumba (río Callazas), en contraste con la extensión del área; mientras que, el menor número se ubica en la subcuenca de la Quebrada Honda; esto debido a que, a pesar de tener mayor porcentaje de área, esta última es una zona desértica (Figura 27).

c. Distribución altitudinal

La influencia de los factores de relieve interviene de manera importante en los fenómenos meteorológicos, por lo tanto, la densidad de la red de estaciones debe variar de acuerdo a la topografía del lugar. Para regiones montañosas, como el caso de la cuenca Locumba, se adoptan densidades 1,5 veces mayores a las utilizadas en terreno plano, dependiendo de los gradientes altitudinales, y sistemas físicos que afecten a la región.

En la Tabla 15 se observa la superficie de la cuenca y el número de pluviómetros incluidos en cada intervalo de altitud de 400 m. Las 13 estaciones ubicadas en la cuenca húmeda representan un 76 por ciento del total, lo que constituye un buen indicativo de la fiabilidad del registro de precipitaciones en la cuenca.

Tabla 15: Número de pluviómetros por rango altitudinal

Rangos altitudinales	Área	n.º Estaciones	% Área	% Estaciones
0 - 400	85.72	1	1.48	4.76
400- 800	596.04	2	10.31	9.52
800 - 1200	833.23	1	14.41	4.76
1200 - 1600	559.00	1	9.67	4.76
1600 - 2000	442.89	0	7.66	0.00
2000 - 2400	309.30	0	5.35	0.00
2400 - 2800	266.04	0	4.60	0.00
2800 - 3200	280.69	1	4.85	4.76
3200 - 3600	322.12	4	5.57	19.05
3600 - 4000	398.43	2	6.89	9.52
4000 - 4400	339.03	1	5.86	4.76
4400 - 4800	936.75	8	16.20	38.10
4800 - 5200	380.30	0	6.58	0.00
5200 <....	32.45	0	0.56	0.00
TOTAL	5834.25	21	100.00	100.00

En la Figura 28 se observa que la mayor cantidad de estaciones está en la parte alta, donde también el área es considerable, mientras que no existen estaciones en la parte media, donde

el área es menor. No existe una estación por encima de los 5000 m.s.n.m, que es la zona donde ocurre precipitación sólida (nieve).

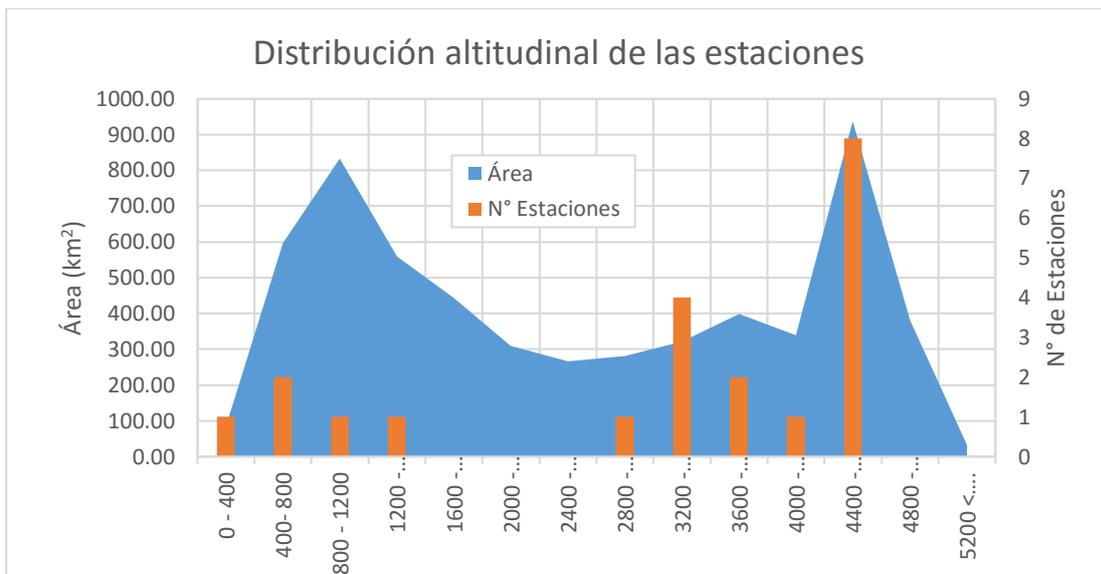


Figura 28: Distribución altitudinal de las estaciones

3.6 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

3.6.1 Análisis gráfico

Las gráficas se presentan en el ANEXO 4.

- Se identificó un posible salto en la media y en la desviación estándar en la estación Vilacota, observándose un periodo más húmedo en el periodo 1966-1986 (Figura 29). Se confirmará con el análisis de doble masa y estadístico. En las demás estaciones no se observan saltos.
- Visualmente no se aprecian tendencias en ninguna serie.
- Se aprecian valores anómalos en la estación Toquepala para febrero de 1972, febrero de 1973 y enero de 1974, mayores a 300 mm.

En los histogramas de precipitación total mensual se evidenció un posible salto en la estación Vilacota y valores máximos anómalos en la estación Toquepala en febrero de 1972, febrero de 1973 y enero de 1974.

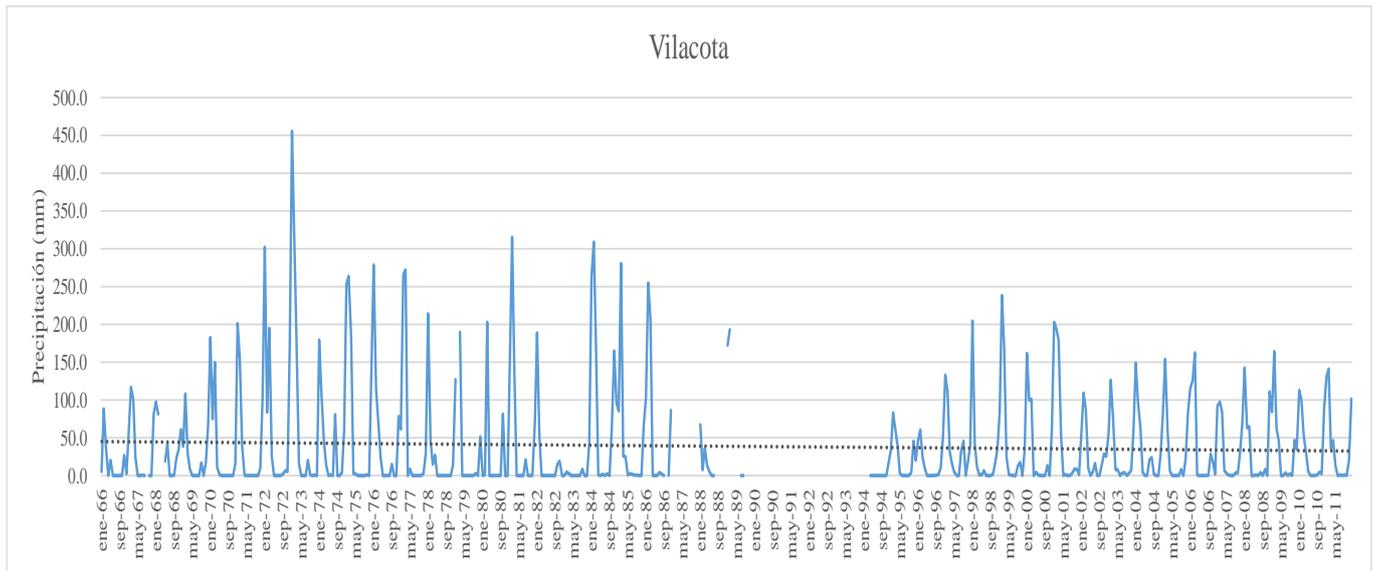


Figura 29: Histograma de precipitación de la estación Vilacota

3.6.2 Regionalización

El análisis mediante vector regional determinó la existencia de tres regiones pluviométricas en la zona de estudio (cuenca de Locumba y cuencas vecinas) dividiéndose en parte baja, media y alta.

- Parte baja: considera las estaciones de Ilabaya, Ite, Curibaya y Sama; el rango de precipitación se encuentra por debajo de 35 mm anuales y tienen una altitud límite a los 2500 m.s.n.m.
- Parte media: considera las estaciones de Candarave, Qda. Honda, Tarata, Sitajara, Susapaya y Talabaya; la precipitación se encuentra en un rango que va desde 100 a 260 mm anuales. El rango de altitud se encuentra entre los 3000 a 4000 m.s.n.m.
- Parte alta: considera las estaciones de Tacalaya, Suches, Chuapalca, Challapalca y Vilacota, la precipitación total anual llega a un máximo de 448 mm y tiene como altitud máxima los 4452 m.s.n.m.

En las Figuras 30, 31 y 32 se muestra los índices anuales y acumulados del vector para la parte baja, media y alta de la cuenca Locumba, respectivamente.

Las correlaciones mayores a 0,55 evidencian una buena calidad de la información analizada; esta relación del vector regional con las estaciones permitió la completación de datos de precipitación y la extensión hasta el año 2014, mediante el procedimiento de correlaciones múltiples (Tabla 16).

Tabla 16: Salidas del proceso de regionalización mediante el método del Vector Regional dentro del programa Hydracces

Región	Estación	n.º Años	Coef. Variación	Media Calculada	Correl. /Vector
	Ilabaya	33	1.364	16	0.788
Parte baja	Ite	33	0.95	8.6	0.664
	Curibaya	32	0.731	41.3	0.554
	Sama	35	1.263	56	0.707
	Candarave	37	0.483	161.5	0.762
Parte media	Qda. Honda	32	0.476	270.2	0.939
	Tarata	36	0.624	193.8	0.867
	Sitajara	33	0.533	106.4	0.901
	Susapaya	37	0.699	228.7	0.911
	Talabaya	38	0.56	188.3	0.942
	Tacalaya	33	0.327	435.3	0.919
Parte alta	Suches	32	0.452	405.5	0.909
	Chuapalca	34	0.425	344.1	0.883
	Challapalca	25	0.517	489.2	0.822

El indicador más importante para ver la relación entre el vector y la estación pluviométrica es la correlación vector/estación y el coeficiente de variación.

- Parte baja: se tiene una correlación-vector baja entre estaciones, todas menores a 0,8. La que tiene menor correlación con el resto es Curibaya, porque tiene una media calculada y coeficiente de variación mayor.
- Parte media: tienen buena correlación-vector, a excepción de la estación Candarave, siendo la estación Quebrada Honda la que tiene mayor correlación con 0.94.
- Parte alta: todas las estaciones tienen buena correlación-vector, mayores a 0.8. Con variaciones de media calculada entre 344 a 489, y coeficientes de variación bajas.

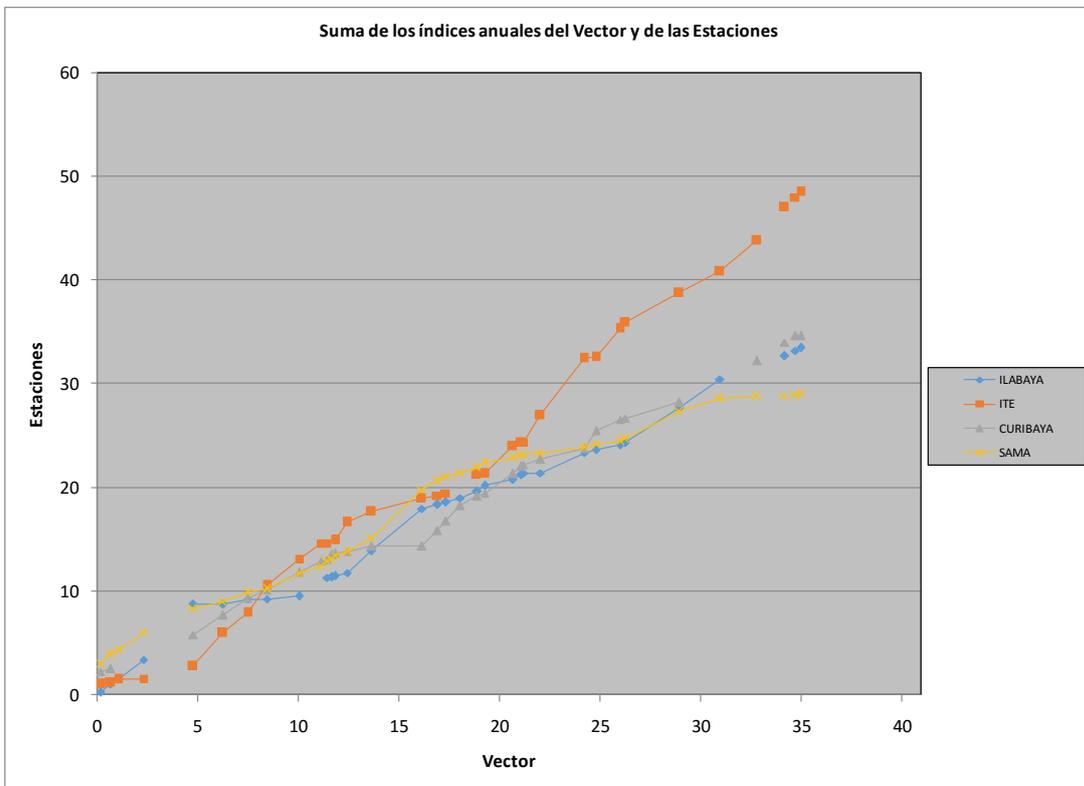
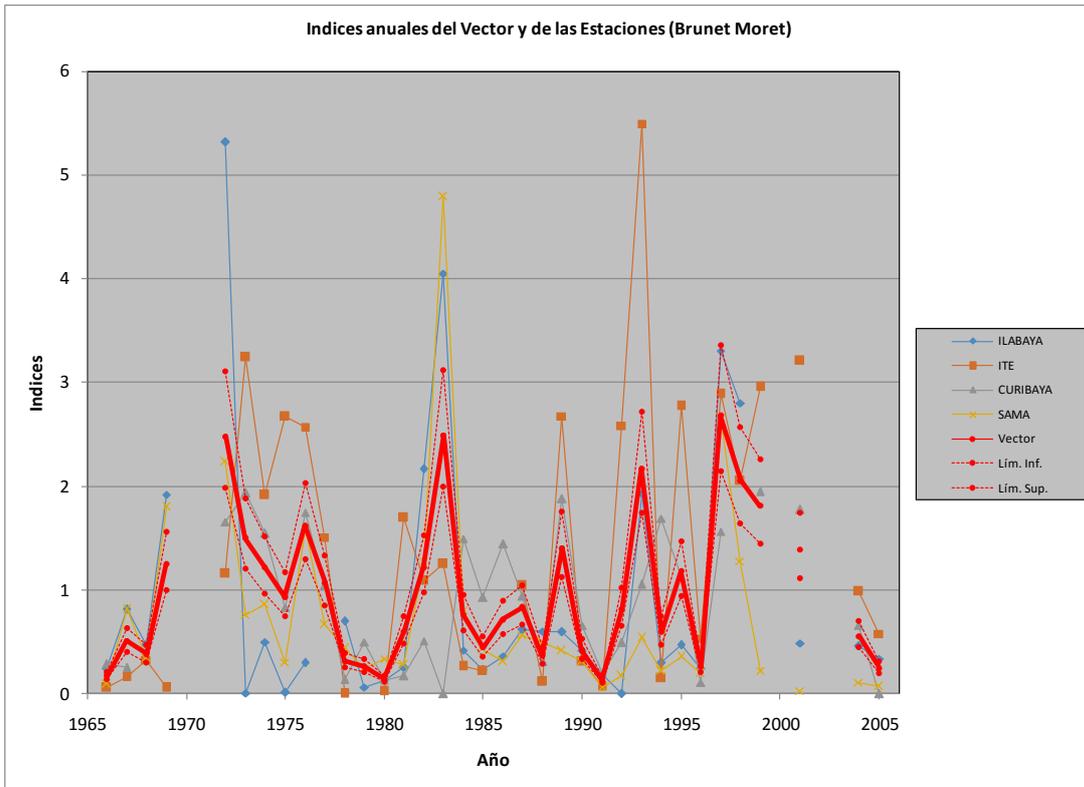


Figura 30: Índices anuales y acumulados del vector regional – parte baja de la cuenca

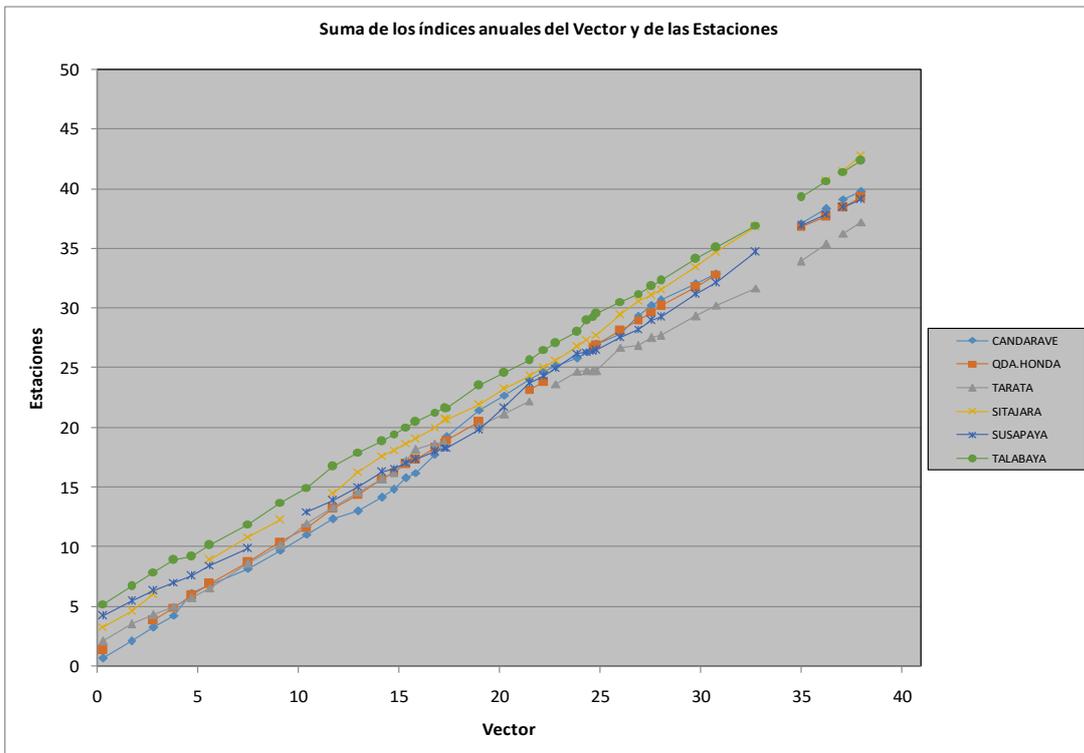
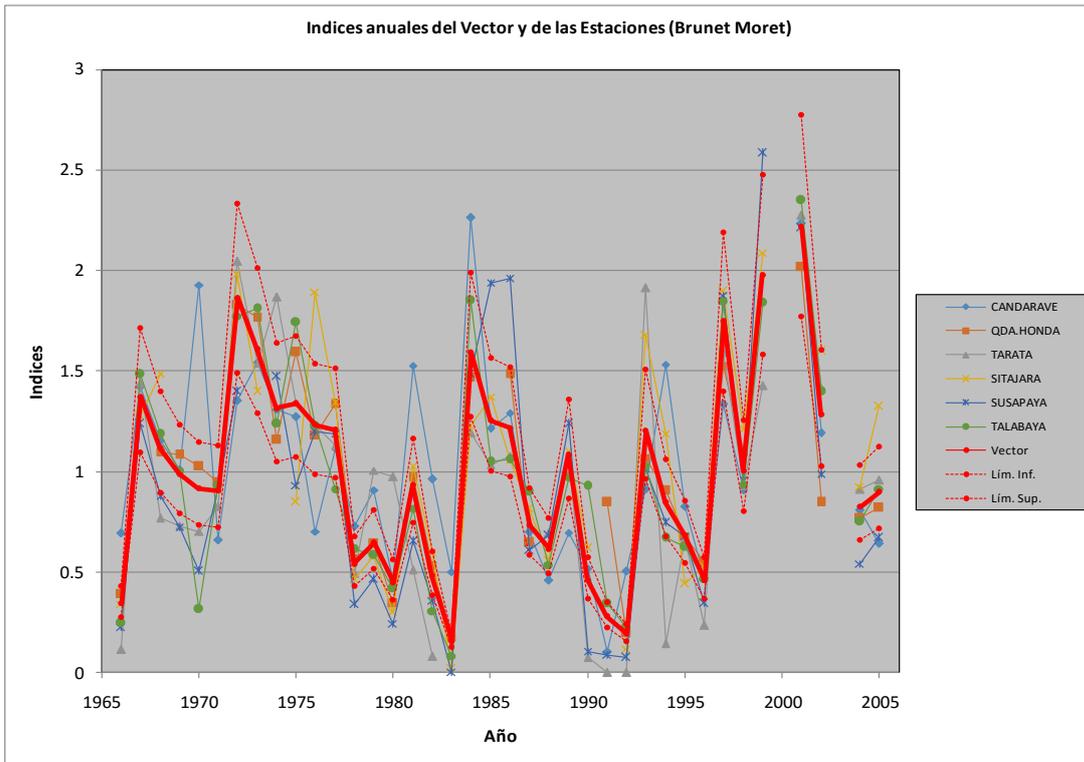


Figura 31: Índices anuales y acumulados del vector regional – parte media de la cuenca

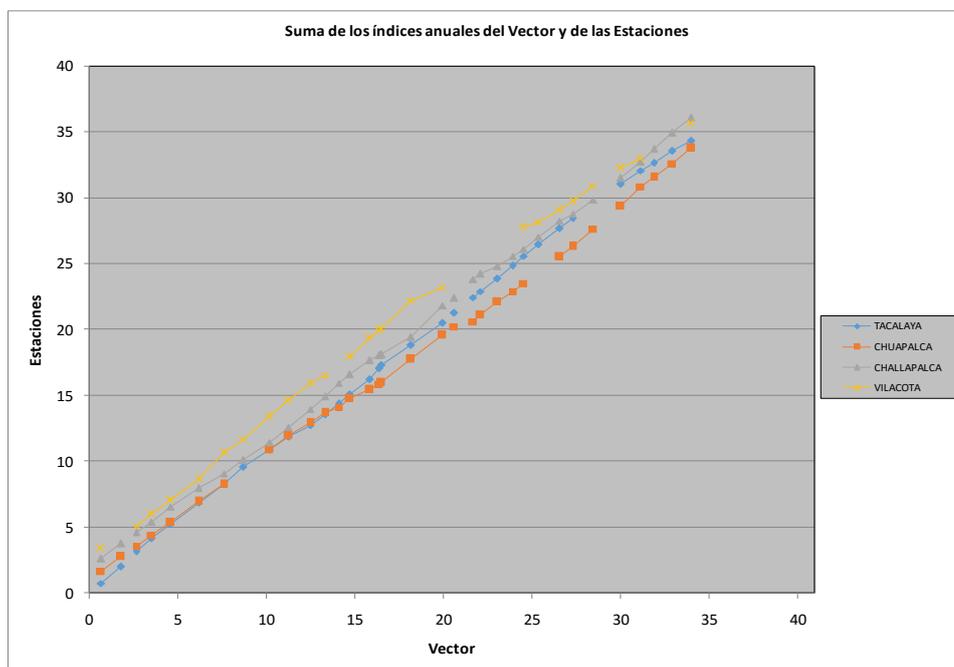
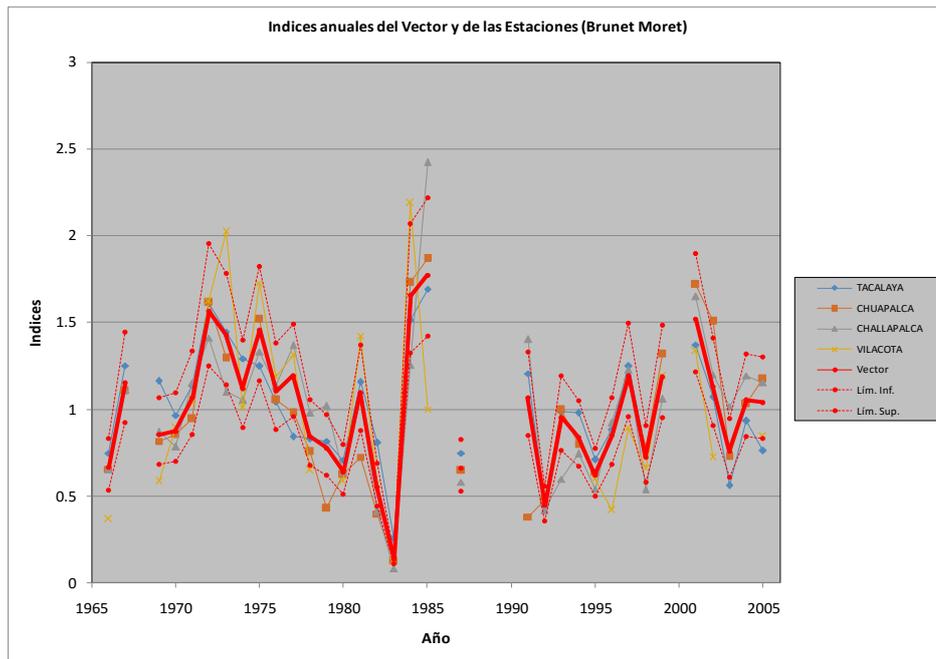


Figura 32: Índices anuales y acumulados del vector regional – parte alta de la cuenca

3.6.3 Análisis de doble masa

La parte baja no fue analizada por tener en su mayoría valores nulos y/o cercanos a cero. En la parte alta (Tabla 17) se identificaron quiebres (cambio de pendiente) en la recta obtenida en la gráfica de doble masa. Quiebres pequeños y esporádicos (no persistentes por un periodo mayor a 5 años) no fueron tomados en cuenta puesto que son inherentes a la variabilidad climática local de cada estación.

Tabla 17: Precipitación acumulada del primer grupo

Año	Suches		Tacalaya		Qda Honda		Vilacota		Chuapalca		Challapalca		Vizcachas	
	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum
1966	281.8	18729.7	325.2	21462.6	104.9	12485.2	180.1	22699.6	266.2	18996.9	224.4	17263.5		
1967	370.5	18447.9	544.9	21137.4	171.5	12380.3	386.6	22519.5	447.7	18730.7	381.9	17039.1		
1968	515.0	18077.4	615.0	20592.5	296.4	12208.8	472.9	22133.0	395.8	18283.0	375.3	16657.2		
1969	329.1	17562.4	506.8	19977.5	292.1	11912.4	286.5	21660.1	331.5	17887.2	300.2	16281.9		
1970	319.8	17233.3	420.2	19470.7	277.6	11620.3	436.3	21373.6	346.8	17555.7	270.3	15981.7		
1971	369.1	16913.5	494.9	19050.5	255.4	11342.7	507.3	20937.3	384.0	17208.9	397.2	15711.4		
1972	516.9	16544.4	700.2	18555.6	493.6	11087.3	793.1	20430.0	654.9	16824.9	486.0	15314.2		
1973	435.9	16027.5	629.9	17855.4	476.6	10593.7	990.0	19636.9	525.2	16170.0	378.9	14828.2		
1974	525.0	15591.6	562.5	17225.5	313.2	10117.1	494.1	18646.9	395.8	15644.8	363.1	14449.3		
1975	433.3	15066.6	543.3	16663.0	429.9	9803.9	845.4	18152.8	616.5	15249.0	458.5	14086.2		
1976	396.5	14633.3	454.7	16119.7	319.3	9374.0	580.7	17307.4	427.2	14632.5	390.0	13627.7		
1977	435.7	14236.8	367.5	15665.0	361.0	9054.7	642.3	16726.7	397.0	14205.3	470.8	13237.7		
1978	392.4	13801.1	361.4	15297.5	154.1	8693.7	317.7	16084.4	306.4	13808.3	337.2	12766.9		
1979	257.7	13408.7	355.5	14936.1	173.0	8539.6	472.9	15766.7	173.6	13501.9	351.5	12429.7		
1980	276.8	13151.0	308.3	14580.6	92.4	8366.6	286.1	15293.8	253.0	13328.3	219.9	12078.2		
1981	401.2	12874.2	504.1	14272.3	261.7	8274.2	696.6	15007.7	293.5	13075.3	364.4	11858.3		
1982	311.1	12473.0	351.8	13768.2	144.9	8012.5	277.6	14311.1	162.0	12781.8	142.1	11493.9		
1983	143.2	12161.9	111.4	13416.4	47.3	7867.6	59.6	14033.5	51.6	12619.8	28.6	11351.8		
1984	543.2	12018.7	657.6	13305.0	396.2	7820.3	1070.7	13973.9	701.6	12568.2	432.0	11323.2		
1985	471.7	11475.5	736.4	12647.4	260.1	7424.1	489.4	12903.2	757.0	11866.6	833.9	10891.2		
1986	462.6	11003.8	542.6	11911.0	401.3	7164.0	665.7	12413.8	419.4	11109.6	375.3	10057.3		
1987	253.6	10541.2	325.5	11368.4	174.8	6762.7	472.9	11748.1	262.5	10690.2	200.1	9682.0		
1988	390.2	10287.6	352.6	11042.9	260.1	6587.9	472.9	11275.2	378.8	10427.7	316.3	9481.9		
1989	390.2	9897.4	447.1	10690.3	260.1	6327.8	472.9	10802.3	395.8	10048.9	375.3	9165.6		

... continuación

Año	Suches		Tacalaya		Qda Honda		Vilacota		Chuapalca		Challapalca		Vizcachas	
	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum
1990	390.2	9507.2	447.1	10243.2	260.1	6067.7	472.9	10329.4	155.9	9653.1	610.5	8790.3		
1991	331.9	9117.0	524.5	9796.1	228.5	5807.6	472.9	9856.5	154.7	9497.2	375.3	8179.8		
1992	390.2	8785.1	191.7	9271.6	53.0	5579.1	472.9	9383.6	194.4	9342.5	144.0	7804.5		
1993	390.2	8394.9	429.4	9079.9	288.5	5526.1	472.9	8910.7	403.9	9148.1	206.1	7660.5		
1994	442.3	8004.7	426.7	8650.5	244.5	5237.6	472.9	8437.8	322.6	8744.2	255.6	7454.4	524.4	9001.5
1995	309.9	7562.4	308.8	8223.8	183.3	4993.1	291.2	7964.9	258.7	8421.6	186.6	7198.8	324.8	8477.1
1996	305.8	7252.5	384.6	7915.0	148.9	4809.8	204.8	7673.7	372.1	8162.9	317.6	7012.2	479.2	8152.3
1997	390.2	6946.7	543.2	7530.4	412.6	4660.9	435.0	7468.9	470.5	7790.8	422.1	6694.6	493.6	7673.1
1998	390.2	6556.5	330.3	6987.2	296.2	4248.3	322.0	7033.9	316.9	7320.3	185.5	6272.5	280.9	7179.5
1999	544.2	6166.3	447.1	6656.9	260.1	3952.1	582.4	6711.9	534.1	7003.4	365.1	6087.0	497.7	6898.6
2000	395.4	5622.1	521.2	6209.8	322.8	3692.0	442.4	6129.5	443.3	6469.3	365.9	5721.9	485.8	6400.9
2001	489.9	5226.7	595.6	5688.6	545.3	3369.2	652.0	5687.1	696.8	6026.0	568.2	5356.0	554.0	5915.1
2002	451.9	4736.8	484.5	5093.0	228.7	2823.9	352.9	5035.1	611.1	5329.2	413.3	4787.8	488.7	5361.1
2003	281.8	4284.9	243.6	4608.5	177.3	2595.2	351.7	4682.2	295.7	4718.1	349.5	4374.5	276.1	4872.4
2004	343.8	4003.1	406.3	4364.9	207.0	2417.9	390.1	4330.5	419.0	4422.4	411.0	4025.0	411.5	4596.3
2005	352.0	3659.3	332.7	3958.6	221.1	2210.9	415.6	3940.4	477.1	4003.4	397.6	3614.0	415.2	4184.8
2006	487.1	3307.3	501.7	3625.9	358.6	1989.8	453.8	3524.8	588.6	3526.3	595.8	3216.4	392.9	3769.6
2007	346.3	2820.2	409.0	3124.2	213.1	1631.2	393.7	3071.0	421.7	2937.7	375.3	2620.6	450.1	3376.7
2008	290.4	2473.9	364.6	2715.2	153.4	1418.1	394.6	2677.3	400.4	2516.0	375.3	2245.3	450.1	2926.6
2009	354.6	2183.5	412.6	2350.6	114.7	1264.7	446.3	2282.7	380.5	2115.6	375.3	1870.0	450.1	2476.5
2010	357.1	1828.9	273.6	1938.0	117.9	1150.0	401.4	1836.4	358.9	1735.1	368.8	1494.7	450.1	2026.4
2011	455.4	1471.8	512.0	1664.4	329.3	1032.1	489.2	1435.0	466.9	1376.2	375.3	1125.9	470.2	1576.3
2012	635.7	1016.4	661.8	1152.4	422.1	702.8	472.9	945.8	513.5	909.3	375.3	750.6	598.6	1106.1
2013	380.7	380.7	490.6	490.6	280.7	280.7	472.9	472.9	395.8	395.8	375.3	375.3	507.5	507.5

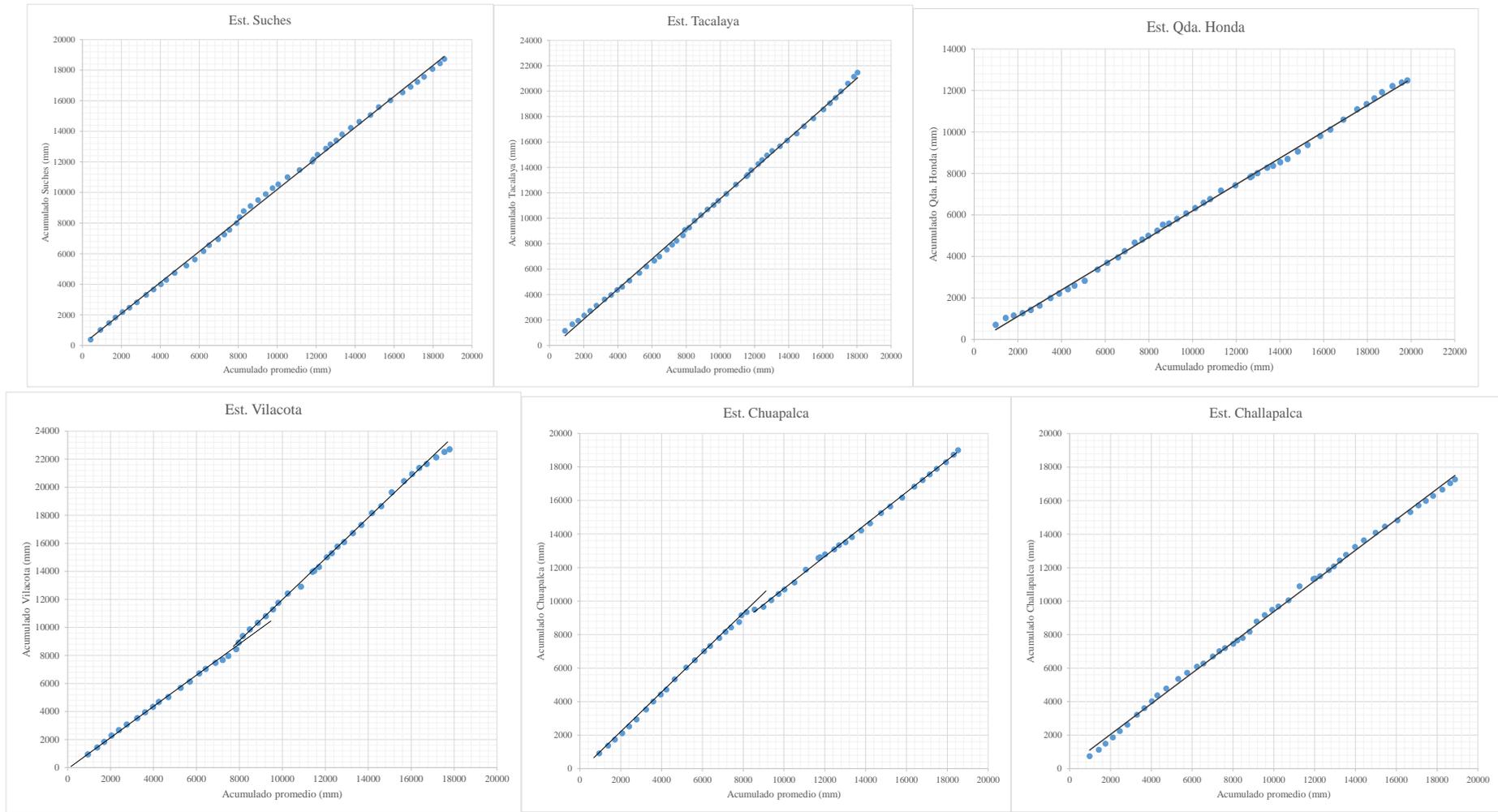


Figura 33: Diagramas de doble masa – primer grupo

En la precipitación del segundo grupo (Tabla 18) se detectaron ligeros quiebres en las pendientes de las rectas de las estaciones Vilacota y Chuapalca (Figura 33). Esto determina dos periodos (antes y después del quiebre), los cuales fueron evaluados estadísticamente para decidir si efectivamente no son homogéneos y necesitan ser corregidos.

Tabla 18: Precipitación acumulada del segundo grupo

Año	Qda honda		Susapaya		Cairani		Toquepala		Candarave		Sitajara	
	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum
1966	104.9	104.9	51.6	51.6	27.4	27.4	131.2	131.2	112	112	36.3	36.3
1967	171.39	276.29	283.3	334.9	90.7	118.1	362.5	493.7	229.2	341.2	135.9	172.2
1968	296.4	572.69	201.1	536	115.3	233.4	277.4	771.1	186.5	527.7	158.1	330.3
1969	292.1	864.79	165.9	701.9	114.4	347.8	114.4	885.5	163.1	690.8	114.3	444.6
1970	277.6	1142.39	115.4	817.3	40.7	388.5	26.9	912.4	311.2	1002	61.8	506.4
1971	255.4	1397.79	210	1027.3	98.3	486.8	86.5	998.9	106.3	1108.3	96.2	602.6
1972	493.6	1891.39	319.3	1346.6	187.6	674.4	131.2	1130.1	218.4	1326.7	210.5	813.1
1973	476.6	2367.99	263.4	1610	142.9	817.3	131.2	1261.3	248.9	1575.6	148.7	961.8
1974	313.2	2681.19	336.5	1946.5	189.6	1006.9	171.2	1432.5	211.5	1787.1	206.5	1168.3
1975	429.9	3111.09	212.9	2159.4	159.8	1166.7	249.6	1682.1	205.4	1992.5	90.1	1258.4
1976	319.3	3430.39	274.2	2433.6	183.7	1350.4	149.1	1831.2	113.3	2105.8	201.5	1459.9
1977	361	3791.39	272	2705.6	125.4	1475.8	152	1983.2	179.9	2285.7	142.5	1602.4
1978	154.1	3945.49	77.5	2783.1	53.7	1529.5	18.1	2001.3	117.7	2403.4	49.5	1651.9
1979	173	4118.49	106.1	2889.2	57.9	1587.4	48.8	2050.1	146.7	2550.1	61.9	1713.8
1980	92.4	4210.89	55.8	2945	10.8	1598.2	30.5	2080.6	74.4	2624.5	31.5	1745.3
1981	261.7	4472.59	149.2	3094.2	116.2	1714.4	128.4	2209	246.6	2871.1	109.5	1854.8
1982	144.9	4617.49	81.8	3176	96.7	1811.1	74.3	2283.3	155.7	3026.8	63.7	1918.5
1983	47.3	4664.79	0.8	3176.8	8.4	1819.5	70.5	2353.8	80.9	3107.7	1.8	1920.3
1984	396.2	5060.99	339.4	3516.2	175.6	1995.1	121.7	2475.5	365.6	3473.3	130.8	2051.1
1985	397.2	5458.19	443.6	3959.8	118.3	2113.4	204.6	2680.1	196.1	3669.4	146	2197.1
1986	401.3	5859.49	448.9	4408.7	172.2	2285.6	42	2722.1	208.7	3878.1	112	2309.1
1987	174.8	6034.29	139.2	4547.9	68.4	2354	72	2794.1	112.8	3990.9	86.7	2395.8
1988	140.49	6174.78	156.2	4704.1	53.9	2407.9	351.3	3145.4	74.1	4065	58.9	2454.7
1989	215.48	6390.26	282.9	4987	153.6	2561.5	131.2	3276.6	112.4	4177.4	116.6	2571.3
1990	147.32	6537.58	24.3	5011.3	133.4	2694.9	124.5	3401.1	83.7	4261.1	65.7	2637
1991	228.5	6766.08	20.1	5031.4	65.8	2760.7	40.4	3441.5	17.2	4278.3	49.9	2686.9
1992	53	6819.08	16.6	5048	40.7	2801.4	15.3	3456.8	81.5	4359.8	12.5	2699.4
1993	288.5	7107.58	231.7	5279.7	104.7	2906.1	131.2	3588	146.9	4506.7	178.8	2878.2
1994	244.5	7352.08	170.7	5450.4	122.7	3028.8	131.2	3719.2	247.6	4754.3	126.5	3004.7
1995	183.3	7535.38	155.3	5605.7	112.7	3141.5	70.8	3790	133.1	4887.4	46.9	3051.6
1996	148.9	7684.28	78.8	5684.5	46.7	3188.2	131.2	3921.2	75.7	4963.1	56	3107.6
1997	412.6	8096.88	429.3	6113.8	193.9	3382.1	131.2	4052.4	215.8	5178.9	201.6	3309.2
1998	296.2	8393.08	217.6	6331.4	81.3	3463.4	131.2	4183.6	146.6	5325.5	129	3438.2
1999	393.56	8786.64	591	6922.4	176.6	3640	142.5	4326.1	319.7	5645.2	222.1	3660.3
2000	322.8	9109.44	308.2	7230.6	187.5	3827.5	168.9	4495	292.9	5938.1	274.6	3934.9

... continuación

Año	Qda honda		Susapaya		Cairani		Toquepala		Candarave		Sitajara	
	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum	Pp	Pacum
2001	545.3	9654.74	505.6	7736.2	281.9	4109.4	228.2	4723.2	360.8	6298.9	313.9	4248.8
2002	228.7	9883.44	226	7962.2	102.8	4212.2	131.2	4854.4	192.5	6491.4	169.9	4418.7
2003	177.3	10060.74	92	8054.2	49.1	4261.3	131.2	4985.6	94.8	6586.2	68.3	4487
2004	207	10267.74	124	8178.2	114.5	4375.8	131.2	5116.8	130.5	6716.7	98.5	4585.5
2005	221.1	10488.84	153.2	8331.4	69.6	4445.4	131.2	5248	103.5	6820.2	141	4726.5
2006	358.6	10847.44	181	8512.4	92.3	4537.7	131.2	5379.2	178	6998.2	126	4852.5
2007	213.1	11060.54	203.7	8716.1	64.85	4602.55	131.2	5510.4	172	7170.2	116.5	4969
2008	153.4	11213.94	203.7	8919.8	121.5	4724.05	131.2	5641.6	124.4	7294.6	116.5	5085.5
2009	114.7	11328.64	203.7	9123.5	67.9	4791.95	131.2	5772.8	221.4	7516	116.5	5202
2010	117.9	11446.54	44.4	9167.9	30.9	4822.85	131.2	5904	54.8	7570.8	38.8	5240.8
2011	329.3	11775.84	203.7	9371.6	197.4	5020.25	131.2	6035.2	342.5	7913.3	116.5	5357.3
2012	422.1	12197.94	203.7	9575.3	109.1	5129.35	131.2	6166.4	172	8085.3	116.5	5473.8
2013	280.7	12478.64	203.7	9779	109.1	5238.45	131.2	6297.6	172	8257.3	116.5	5590.3

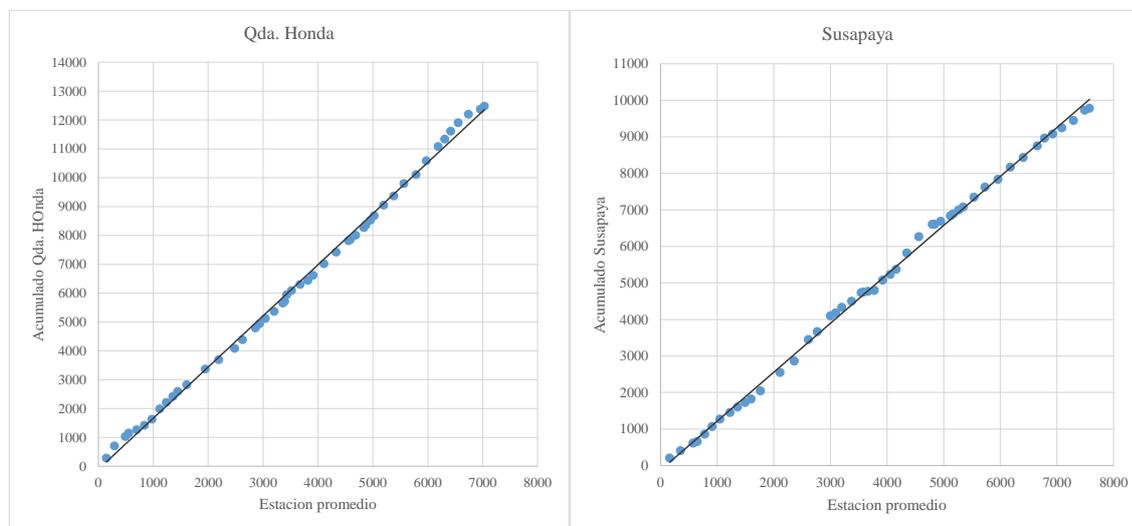


Figura 34: Diagramas de doble masa – segundo grupo. (Qda Honda y Susapaya)

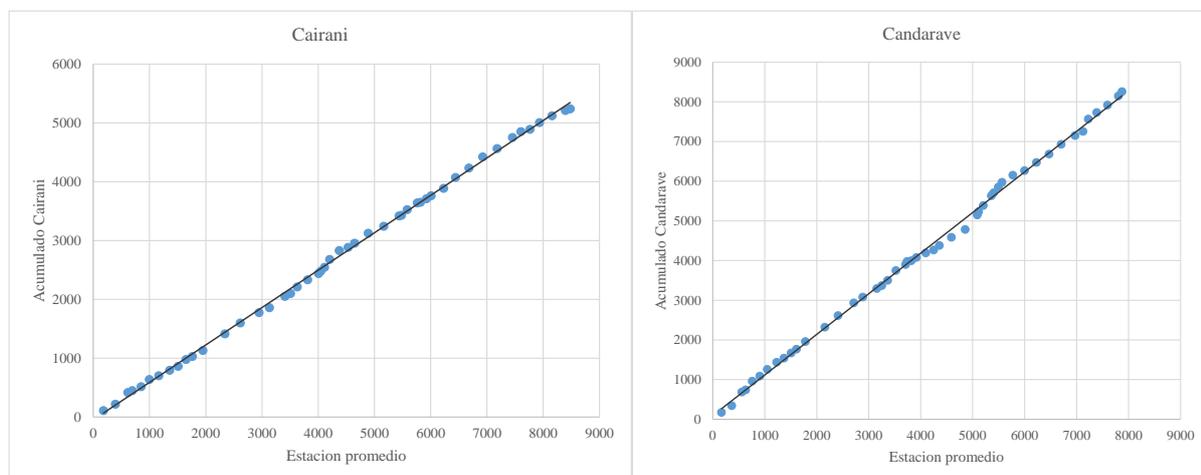


Figura 35: Diagramas de doble masa – segundo grupo. (Cairani y Candarave)

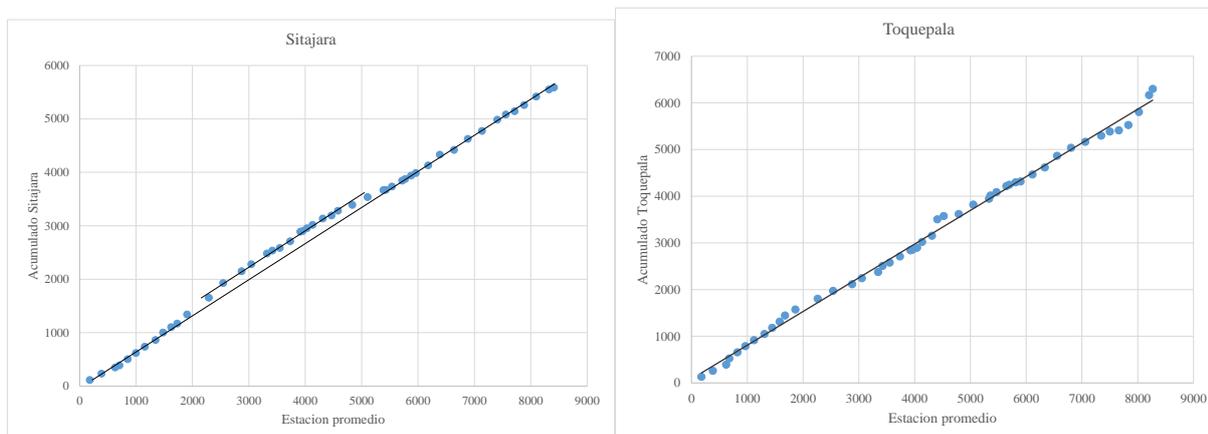


Figura 36: Diagramas de doble masa – segundo grupo. (Sitajara y Toquepala)

No se detectaron quiebres en las gráficas de doble masa del segundo grupo (Figuras 34, 35 y 36).

3.6.4 Análisis estadístico

En el ANEXO 5 se muestran el proceso del análisis estadístico T-Student Y F-Fisher para el tratamiento de precipitación con el objeto de determinar la homogeneidad.

Del análisis estadístico (Tabla 19) se observa que los periodos identificados en las estaciones Vilacota y Chuapalca, que eran las estaciones con mayor posibilidad de saltos, son homogéneos en la media y en la desviación estándar y por lo tanto no necesitan ser corregidos.

Tabla 19: Análisis estadístico de estaciones

Estación	Periodo		Diferencia es significativa	
	Inicial	Final	T-Student	F-Fisher
Suches	1966-1989	1990-2013	No	Si
Tacalaya	1966-1989	1990-2013	No	No
Quebrada Honda	1966-1989	1990-2013	No	No
Chuapalca	1966-1989	1990-2013	No	No
Challapalca	1966-1989	1990-2013	No	No
Suspaya	1966-1989	1990-2013	No	No
Cairani	1966-1989	1990-2013	No	No
Candarave	1966-1989	1990-2013	No	No
Vilacota	1966-1989	1990-2013	No	No
Sitajara	1966-1989	1990-2013	No	No
Toquepala	1966-1989	1990-2013	No	No
Vizcachas	1966-1989	1990-2013	No	No

3.7 OPTIMIZACIÓN DE LA RED

Para la aplicación se ha utilizado las estaciones dentro de la cuenca. Es así que de las 16 estaciones que se analizaron solo 7 están dentro de la cuenca, estas se utilizaron para el presente método (Tabla 20).

Tabla 20: Estaciones dentro de la cuenca Locumba

Estación	Cuenca	Norte	Este	Altitud m.s.n.m.
Cairani	Locumba	8088132	355176	3205
Candarave	Locumba	8092800	368000	3415
Toquepala	Locumba	8088920	326600	3650
Qda.honda	Locumba	8100400	341300	4200
Tacalaya	Locumba	8112000	352000	4400
Suches	Locumba	8130900	352300	4452
Vizcachas	Locumba	8132670	373000	4625

Nota: Coordenadas UTM WGS84 zona 19 S.

Tabla 21: Coeficientes de correlación de precipitación mensual entre las estaciones de la cuenca Locumba

	Cairani	Candarave	Toquepala	Suches	Tacalaya	Qda. Honda	Vizcachas
Cairani	1						
Candarave	0.7541	1					
Toquepala	0.5782	0.4305	1				
Suches	0.7083	0.6905	0.4400	1			
Tacalaya	0.7248	0.7322	0.4561	0.8295	1		
Qda. Honda	0.7359	0.7143	0.4552	0.7840	0.8228	1	
Vizcachas	0.5735	0.5169	0.4105	0.7159	0.7755	0.6898	1

Se determinó la función de correlación de Kagan con los datos de la Tabla 21 (ANEXO 6), utilizando la ecuación 29.

Tabla 22: Variables para la función de correlación de Kagan

Estaciones	Correlación	Distanc entre estaciones (km)
Cairani - Candarave	0.754	13.647
Cairani - Toquepala	0.578	28.587
Cairani - Qda Honda	0.708	18.522
Cairani - Tacalaya	0.725	24.078
Cairani - Suches	0.736	42.865
Cairani - Vizcachas	0.574	47.972
Candarave - Toquepala	0.430	41.581
Candarave - Qda honda	0.690	27.761
Candarave - Tacalaya	0.732	24.993
Candarave - Suches	0.714	41.208
Candarave - Vizcachas	0.517	40.182
Toquepala - Qda honda	0.440	18.652
Toquepala - Tacalaya	0.456	34.320
Toquepala - Suches	0.455	49.222
Toquepala - Vizcachas	0.411	63.773
Qda Honda - Tacalaya	0.829	15.781
Qda honda - Suches	0.784	32.423
Qda honda - vizcachas	0.716	45.235
Tacalaya - Suches	0.823	18.902
Tacalaya - Vizcachas	0.776	29.466
Suches - Vizcachas	0.690	20.776

Con las variables mostradas en la tabla 22, se realizó el ajuste a una curva exponencial para obtener los valores del coeficiente de correlación cruzada y el radio de correlación (Figura 37).

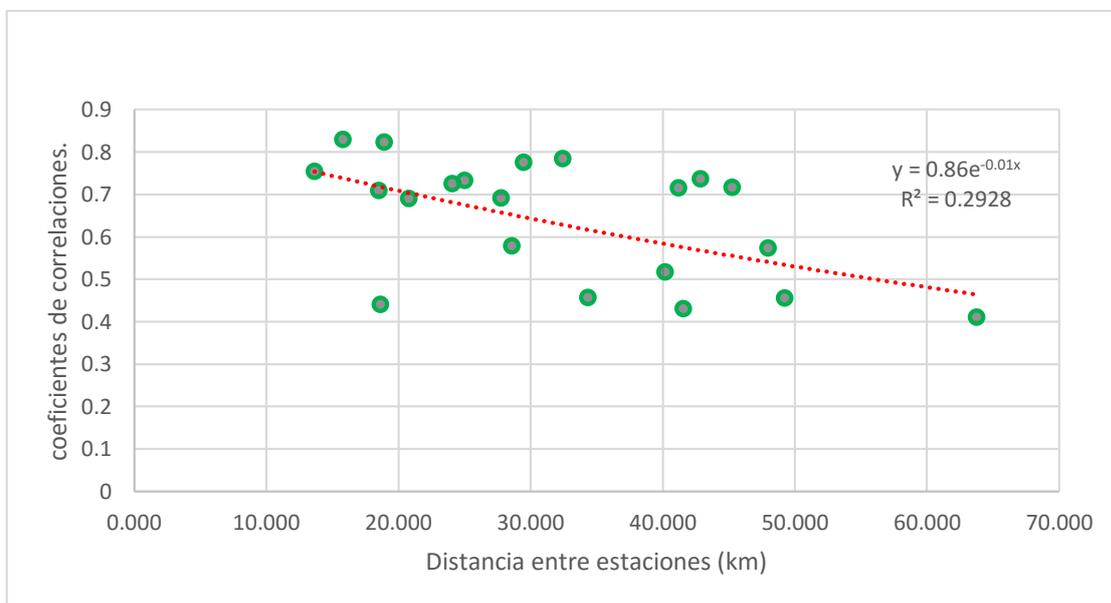


Figura 37: Ajuste a curva exponencial

3.7.1 Cálculo de errores

En la Tabla 23 y Figura 38 se presentan los errores para diferente número de estaciones pluviométricas (N), de aquí se obtuvo el número de estaciones óptimo para un error menor de 10 por ciento que fue de 12 estaciones con una cobertura pluviométrica de 7,33 km por estación.

Tabla 23: Errores obtenidos por el método de Kagan

N	Z1 (%)	Z3 (%)	N	Z1(%)	Z3 (%)
2	26	35	15	8	25
4	17	31	20	7	24
6	14	29	30	6	23
8	12	27	40	5	22
12	10	26			

El criterio para la ubicación de las nuevas estaciones es de acuerdo al área de influencia de cada una, tal que estas ocupen la mayor cantidad de superficie de la cuenca.

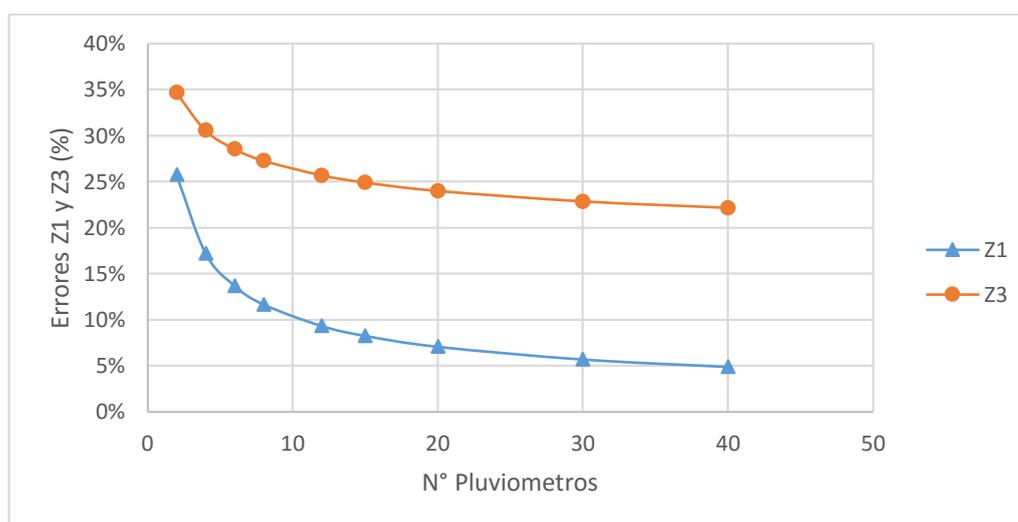


Figura 38: Curva de errores por número de estaciones

En la Figura 39 se presenta la cuenca con la influencia de cada estación. Las estaciones que se añadirían serían para cubrir de la mejor forma. La primera se plantea ubicar en la zona de Japopunco para tener un mayor registro de la cabecera de la cuenca, la segunda en Coranchay, donde ya existe una estación automática nueva por lo que debería seguir funcionando. Tercero una estación en Calientes, esta debe ser permanente debido a que es la subcuenca menos estudiada y con gran importancia ambiental. La cuarta estación se plantea ubicar en Arañame para monitorear la parte media de la subcuenca del río Calientes y

finalmente la última estación en la zona de Camilaca para monitorear la parte alta de la subcuenca del río Ilabaya.

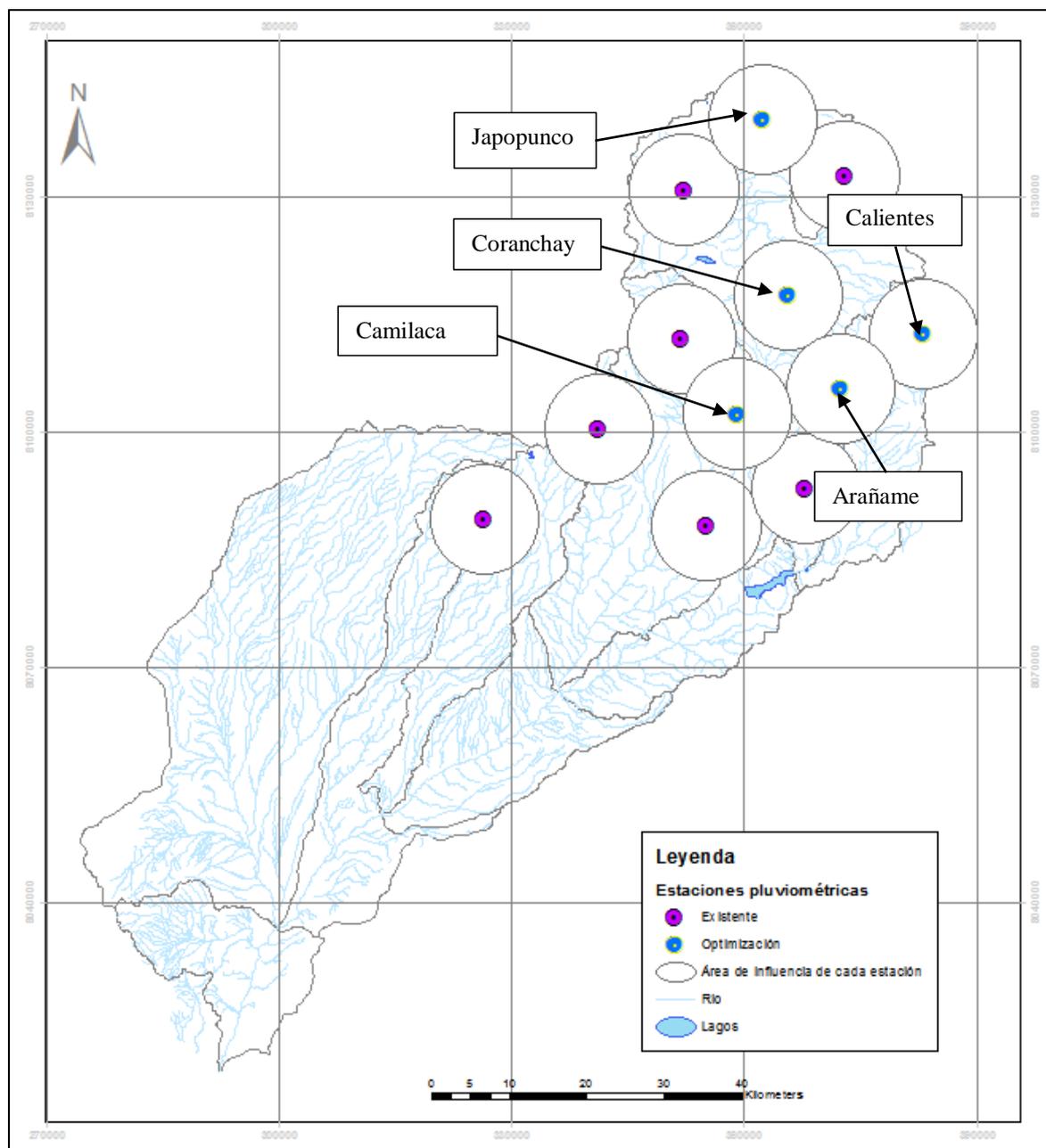


Figura 39: Red pluviométrica optimizada de la cuenca Locumba

IV CONCLUSIONES

- La optimización de la red pluviométrica de la cuenca del río Locumba, por el método de Kagan, arrojó como número óptimo 12 estaciones pluviométricas para obtener errores aceptables de 10 por ciento, en una evaluación de la precipitación promedio y de 26 por ciento para la evaluación de la interpolación espacial.
- La cuenca tiene un déficit de 5 estaciones pluviométricas para tener una buena representatividad de precipitación.
- Del diagnóstico climático mostró dos zonas, una húmeda a partir de los 4000 msnm hacia la parte alta de la cuenca, y la otra seca desde los cero a 4000 msnm.
- De la evaluación de la red se recopiló el estado de 19 estaciones pluviométricas, de las cuales 10 son automáticas en buen estado, 7 climatológicas ordinarias también en buen estado y dos pluviométricas en similar estado. De estas estaciones se utilizó las que se ubicaban dentro de la cuenca húmeda y semi húmeda, con mayor cantidad de datos y con mejores consistencias, trabajando finalmente con 7 estaciones.

V RECOMENDACIONES

- Mejorar la cantidad y calidad de los datos y estaciones, con una correcta programación de mantenimiento y sistema de gestión de datos.
- Implementar las estaciones Japopunco, Arañame y Camilaca.
- Al realizar la aplicación del método en otras cuencas se debe tomar en cuenta el régimen pluvial, la altitud mínima de la cuenca húmeda y contar con la mayor cantidad de registros históricos siendo lo ideal tener data diaria.
- Se recomienda realizar un nuevo análisis, en unos años, para ver la evolución de la red, al tener mayor cantidad de información se podrá mejorar la red.

VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aliaga, S; De Piérola, J. 1979. Análisis de consistencia de series hidrometeorológicas. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Aparicio, F. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. México. Editorial Limusa S.A.
- Bateman, A. 2007. Hidrología básica y aplicada. España. Consultado 20 oct 2018. Disponible <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Benson, M, 1965. Allocation of stream-gaging stations within a country. Design of Hydrological Networks Symposium I, World Meteorological Organization and International Association of Scientific Hydrology, Publication No.67, 222-228.
- Brunet-Moret, Y. 1979. Homogénéisation des précipitations. Cahiers ORSTOM, (serie hydrologie) 16(3):147-170,
- Chow, V; Maidment, D; Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Editorial Mc Graw Hill. Bc
- Constanza, M; Bernal G. 2007. Diseño de la ampliación de la red hidrometeorológica de Bogota y la cuenca alta del río Tunjuelo. Bogota, Colombia, IDEAM.
- Córdoba, S; Zea J; Murillo, W. 2006. Estimación de la precipitación media, evaluación de la red pluviométrica y cuantificación del balance hídrico en la cuenca del río Quito en el departamento del Chocó, Colombia. Bogotá, D. C. -Colombia.
- DEUNC (Departamento de Estadística Universidad Nacional de Colombia). 2004. Métodos de regresión. Consultado 10 oct 2018. Disponible <http://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/libros/2007315/index.html>.
- Domínguez, E; Niño, R; Verdugo, N. 2006. Aplicación de los criterios de optimización de Kariassov a la red hidrológica colombiana. Avances de recursos hidráulicos (13): 123-137.

- Guevara, E; Guevara, J; García, E. 2008. Régimen climático y patrón espacial de las lluvias en la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Revista de climatología*. Vol. 8 (2008): 29-40.
- Gonzalo, H. 2001. Lineamientos ingenieriles para la administración pública del agua con énfasis en la predicción de la oferta mensual hídrica bajo escenario no estacionario. Ph.D. Tesis. San Petersburgo, Rusia. Universidad Estatal Meteorológica de Rusia. 55p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2001. Diccionario de datos climáticos. Aguascalientes, México. ISBN 970-13-3263-6
- Kagan, R. 1966. An evaluation of the representativeness of precipitation data. Works of the Main Geophysical Observatory. URSS.
- Karasiov, I. 1972. Physical and statistical methods for network design. Ginebra. WNO-324.
- Lahura, E. 2003. El Coeficiente de correlación y correlaciones espúreas. Lima. Consultado 10 oct. 2018. Disponible <http://departamento.pucp.edu.pe/economia/images/documentos/DDD218.pdf>
- Le Goulven, P; Alemán, M; Osorno, I. 1988. Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional. Congreso Nacional de hidráulica asociación ecuatoriana de hidráulica (5,1988, Quito, Ecuador). Quito, Ecuador.
- Maldonado, I. 2006. Red de estaciones meteorológicas automáticas como base para crear sistemas de alerta temprana en VII Región. Chillán, Chile. Centro Regional de Investigación Quilamapu. 24p. (Boletín INIA N° 145).
- Manzananas, R. 2015. Regionalización estadística de escenarios climáticos del Perú. Proyecto AMICAF. SENAMHI.
- Moss, ME; Karlinger, MR. 1974. Surface water network design by regression analysis. *Water Resources Research*, 10: 427-433
- Nemeč, J; Askew, AJ, 1986. Mean and variance in network-design philosophies. In: Moss, M.E. (ed.), *Integrated Design of Hydrological Networks*, Proceedings of the Budapest Symposium, IAHS Publication N° 158, 123-131

- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). 1976. Mapa de ecológico del Perú, Guía explicativa. Lima, Perú.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2011a. Guía de prácticas climatológicas N°100. Ed. 2011. Ginebra, Suiza. ISBN 978-92-63-30100-0.
- OMM (Organización Meteorología Mundial). 2011b. Guía de prácticas hidrológicas, de la medición a la información hidrológica N°168. 6ta Ed. Ginebra, Suiza. ISBN 978-92-63-30168-0.
- Ontiveros, M. 2000. Resumen de optimización de la red hidrológica básica bajo los escenarios de cambio climático en la república de Bolivia. Ph.D.Tesis. San Petersburgo, Rusia. Universidad Estatal Meteorológica de Rusia. 26 p.
- PMRH (Proyecto de modernización de la gestión de los recursos hídricos). 2012. Diagnostico situacional de la gestión de los recursos hídricos Cuencas: Locumba, Sama y Caplina. Tacna.
- Rojas, M; Mora, L. 2009. Diseño óptimo de redes pluviométricas. Revista forestal venezolana 53(1):9-22.
- SAIH HIDROSUR (Sistema Automático de Información Hidrologica Hidrosur). 2018. Mapa de red de estaciones. Consultado 09 de oct. 2018. Disponible <http://www.redhidrosurmedioambiente.es/saih/mapa/general>.
- Secor, G; Rivera, V. 2006. Redes agrometeorológicas y sistemas de alerta en Estados Unidos. Chillán, Chile. Centro Regional de Investigación Quilamapu. 20p. (Boletín INIA N° 145).
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2014. Memoria anual 2014. Lima.
- Stedinger, J; Tasker, G. 1985. Regional hydrologic analysis – ordinary, weighted and generalized least squares compared. Water Resources Research, 21: 1421-1432.
- Vera, H. 2010. Redes hidrológicas de la Asociación Regional III (América del Sur). Santiago, Chile.
- Zuñiga, LI; Crespo, E. 2010. Meteorología y Climatología. Madrid. UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia).

VIIANEXOS

ANEXO 1: DATOS DE PRECIPITACIÓN COMPLETADA

Tabla 24: Precipitación Estación Cairani

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1966	0.00	8.10	0.60	0.00	11.20	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	2.10	2.10
1967	18.60	23.40	44.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50
1968	38.20	18.60	52.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	4.30	0.00
1969	26.90	52.90	25.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40
1970	23.20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	1.60	6.60
1971	45.20	28.00	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	21.40
1972	101.80	48.70	24.30	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	1.50	8.40
1973	27.70	90.10	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
1974	108.10	38.40	5.90	0.00	0.00	0.00	0.00	29.60	0.30	0.20	0.00	7.10
1975	53.50	38.30	33.70	0.00	4.30	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.90
1976	76.30	47.20	11.10	9.10	3.10	0.00	2.60	5.60	15.80	0.00	12.30	0.60
1977	26.60	64.20	18.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	1.50	13.90
1978	38.50	7.40	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	7.20	0.10
1979	29.40	0.00	22.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	6.20
1980	5.90	2.10	1.40	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.20	0.00	0.90
1981	35.30	50.50	13.50	8.30	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.30	8.20
1982	52.00	16.30	20.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	7.60	0.00	0.00
1983	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40
1984	76.60	51.80	33.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	6.10	0.10
1985	4.30	82.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.70	20.20
1986	38.20	56.10	55.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	20.20
1987	55.60	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	0.00	0.00
1988	25.30	0.00	17.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.70
1989	34.50	100.90	5.60	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	1.20	1.30	2.10	7.80
1990	9.00	6.30	18.60	0.00	0.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.00
1991	39.90	2.50	23.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.90
1993	74.30	13.80	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00	5.30
1994	47.90	55.90	0.00	12.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60
1995	32.40	0.00	76.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30
1996	29.40	9.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	5.80
1997	58.60	54.80	43.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.60	25.50	0.00	0.00	4.30
1998	57.70	10.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	5.20
1999	7.60	105.00	39.40	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	0.00	16.60

...continuación

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1978	7.90	0.00	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
1979	14.00	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00
1980	7.20	0.00	23.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1981	49.30	41.00	21.00	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00
1982	10.00	23.30	22.00	0.00	9.60	0.00	0.00	0.00	3.70	5.30	0.00	0.40
1983	0.00	27.00	27.00	16.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	38.10	20.80	20.80	21.90	0.00	5.20	0.00	1.30	0.00	0.00	13.60	0.00
1985	0.60	39.70	2.30	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	143.00
1986	14.60	3.70	12.70	0.00	0.00	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60
1987	61.00	1.20	0.80	0.00	0.00	0.00	5.30	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00
1988	6.20	0.70	13.20	66.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.40	218.50
1989	24.88	44.87	13.21	0.81	0.00	0.02	0.00	0.04	0.03	0.12	0.06	4.00
1990	67.70	0.00	3.40	0.00	0.00	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	42.40
1991	7.80	11.40	11.40	2.60	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.00
1992	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.90
1993	48.50	16.17	6.13	0.00	0.02	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	7.00
1994	26.10	40.70	14.50	39.40	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.20
1995	2.20	0.00	63.10	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	3.00
1996	19.80	7.10	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	7.24
1997	53.70	27.00	53.90	0.13	0.00	0.00	0.00	18.50	7.10	0.00	0.03	2.36
1998	46.40	12.10	5.74	0.00	0.00	0.40	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	5.54
1999	7.00	78.30	45.20	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.60
2000	77.00	37.80	27.90	25.90	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
2001	41.50	150.70	33.80	1.20	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2002	7.70	46.00	11.60	1.40	0.00	0.80	0.04	0.00	0.00	0.00	0.08	6.44
2003	11.48	9.98	6.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	1.90
2004	9.39	27.39	10.01	0.13	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
2005	4.40	8.53	18.89	0.55	0.00	0.00	0.00	0.07	2.10	0.00	0.04	1.77
2006	12.61	19.38	8.80	12.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	1.35
2007	14.74	47.94	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	4.55
2008	56.29	4.05	19.12	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.61
2009	4.99	6.77	6.07	0.14	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
2010	0.77	9.98	1.85	0.87	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.95
2011	53.53	57.45	12.04	1.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	124.23
2012	107.89	64.76	49.14	1.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	32.86
2013	27.47	10.10	3.75	0.14	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45

...continuación

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2008	96.40	29.50	17.70	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.60
2009	10.40	54.60	41.50	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	2.60
2010	33.20	65.70	5.80	0.70	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	6.40
2011	94.00	152.50	3.10	12.30	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	61.60
2012	109.30	147.10	87.30	16.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	61.80
2013	100.80	62.20	79.40	0.00	25.90	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	10.90

Tabla 28: Precipitación Estación Tacalaya

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1966	2.10	114.00	56.10	0.00	41.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.30	36.90	38.80
1967	99.40	125.90	153.90	58.10	1.50	0.00	6.70	0.00	6.70	21.30	0.00	71.40
1968	136.00	141.40	201.00	24.10	6.50	6.10	0.00	0.00	0.00	23.40	49.80	26.70
1969	138.00	92.50	137.90	8.80	0.00	0.00	0.00	2.10	22.90	0.00	6.60	98.00
1970	115.40	87.40	137.00	0.00	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	14.20	0.00	61.80
1971	133.70	167.00	39.70	16.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	39.70	97.90
1972	241.80	176.80	131.70	8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.60	31.80	1.50	100.90
1973	244.70	225.30	86.00	38.20	0.00	0.00	0.00	4.80	12.70	4.00	0.00	14.20
1974	236.00	157.20	33.40	23.80	0.00	2.60	0.00	50.70	5.50	0.00	7.40	45.90
1975	155.90	160.30	108.80	3.00	2.50	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109.50
1976	185.10	110.80	46.10	17.80	0.00	0.00	0.00	3.50	27.50	0.00	0.00	63.90
1977	59.20	128.40	77.10	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	11.90	29.70	52.90
1978	193.80	23.50	44.30	43.50	0.00	0.00	2.50	4.00	0.00	2.00	24.00	23.80
1979	92.50	23.90	146.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	9.40	7.80	74.30
1980	49.40	53.10	123.50	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	2.00	56.00	2.40	20.40
1981	96.30	192.70	44.50	63.10	0.00	0.00	0.00	26.30	2.50	0.00	13.40	65.30
1982	93.20	57.40	59.50	37.40	1.50	0.00	0.00	0.00	20.50	50.30	8.50	23.50
1983	24.50	21.80	15.00	11.50	2.00	0.00	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	27.60
1984	150.90	196.80	131.40	8.00	0.00	6.20	0.00	4.00	0.00	53.10	74.50	32.70
1985	47.80	291.70	120.40	42.40	5.60	1.80	0.00	1.50	1.50	0.00	76.80	146.90
1986	163.80	98.70	100.80	49.00	1.50	0.01	0.14	2.20	0.00	0.00	1.50	121.00
1987	233.30	26.10	16.50	0.00	0.00	0.50	23.60	0.00	0.00	13.10	1.10	11.30
1988	155.30	23.70	120.30	1.70	0.20	0.00	0.03	0.00	0.00	0.80	0.80	44.30
1989	122.40	132.50	50.20	44.76	0.63	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00
1990	39.80	36.40	50.20	14.10	2.50	29.40	0.00	0.15	0.06	1.06	2.80	64.06
1991	176.80	110.00	139.20	23.50	0.00	22.30	0.00	0.00	0.00	6.50	17.30	28.90
1992	55.10	16.00	0.00	1.00	0.00	1.20	0.00	1.50	0.00	10.90	30.90	75.10
1993	172.00	43.40	88.00	7.20	0.50	3.20	1.50	34.00	0.00	18.00	7.60	54.00
1994	144.40	151.10	28.60	39.40	10.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	49.40
1995	88.40	13.30	130.50	17.60	2.10	0.00	0.00	0.00	0.30	2.50	9.70	44.40
1996	91.40	133.10	86.00	6.30	4.90	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	28.00	33.40
1997	122.70	208.80	105.20	8.40	8.60	0.00	0.00	22.20	32.40	0.00	7.90	27.00

...continuación

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1998	151.90	50.20	23.90	6.80	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	28.10	69.00
1999	39.70	215.10	130.20	34.60	0.00	0.00	0.00	0.00	7.90	8.50	0.00	60.48
2000	195.90	152.20	105.30	11.30	1.70	0.60	0.40	0.00	0.00	9.50	1.20	43.10
2001	129.40	233.10	142.90	32.70	0.50	2.20	0.00	6.70	3.00	7.70	7.70	29.70
2002	56.40	134.60	131.00	36.80	0.40	7.10	24.10	0.00	0.00	5.80	25.30	63.00
2003	36.20	84.60	67.50	4.30	15.70	0.00	0.00	1.50	2.70	3.50	4.80	22.80
2004	163.80	133.70	49.70	9.80	0.00	0.00	15.80	5.90	0.00	0.00	0.00	27.60
2005	100.10	123.50	43.30	12.30	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	0.00	6.40	40.80
2006	109.60	129.30	181.00	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.30	11.60	40.50
2007	110.30	138.50	105.50	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	4.40	9.00	34.90
2008	164.30	76.40	43.10	0.00	0.00	0.00	0.00	9.30	0.00	0.00	0.00	71.50
2009	37.40	195.70	93.70	27.90	0.00	0.00	12.20	0.00	2.30	0.00	21.20	22.20
2010	57.90	113.80	30.40	8.70	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	0.30	53.00
2011	106.90	174.50	15.80	33.00	38.70	0.00	3.60	0.00	0.00	0.00	13.80	125.70
2012	172.70	168.30	103.40	64.90	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	17.40	0.00	133.10
2013	151.70	113.70	124.70	0.00	11.40	7.30	0.80	1.90	0.00	5.70	0.00	73.40

Tabla 29: Precipitación Estación Suches

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1966	10.70	75.40	45.80	0.00	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	24.40	23.50	64.50
1967	63.30	119.40	80.00	21.00	1.80	0.00	5.60	0.00	12.70	16.50	2.00	48.20
1968	144.00	69.80	151.90	5.00	11.00	14.20	1.00	0.00	0.00	21.60	65.10	31.40
1969	104.00	96.60	64.50	9.50	0.00	0.00	0.00	3.00	13.00	1.00	12.20	25.30
1970	150.40	51.90	56.60	5.30	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	6.90	0.00	42.60
1971	96.30	115.40	62.30	10.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	64.80
1972	176.00	102.00	121.80	15.40	0.00	0.00	0.00	0.00	10.70	27.80	1.20	62.00
1973	138.00	125.50	87.40	42.40	0.00	0.00	0.00	7.50	7.20	2.00	3.20	22.70
1974	236.00	128.20	25.80	32.70	0.00	0.00	0.00	45.00	4.50	0.00	11.30	41.50
1975	97.70	138.70	67.10	8.50	3.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	115.80
1976	154.00	69.50	79.50	13.50	3.00	0.00	0.00	1.00	18.50	0.00	0.00	57.50
1977	71.60	158.00	97.00	9.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	7.50	49.10	40.80
1978	206.60	19.50	58.70	26.50	0.00	0.00	1.50	0.50	0.00	3.50	55.50	20.10
1979	63.40	28.00	82.50	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	0.00	0.00	0.00	74.30
1980	17.50	46.00	93.50	4.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	66.00	9.00	39.60
1981	83.00	148.50	41.50	38.00	0.00	0.00	0.00	15.00	2.00	0.00	10.70	62.50
1982	107.80	51.80	40.80	25.80	0.00	0.00	0.00	0.00	23.70	33.00	6.30	21.90
1983	18.70	37.10	21.50	8.40	0.00	0.00	0.00	0.10	13.84	0.80	0.00	52.90
1984	106.20	156.80	109.60	13.60	0.90	10.80	0.00	3.40	0.00	54.20	87.70	0.00
1985	35.30	178.90	73.30	40.00	3.10	2.30	0.00	1.10	5.80	0.00	68.20	63.70
1986	134.00	138.40	56.20	20.10	1.50	0.00	0.01	3.70	0.00	0.40	6.70	97.20

...continuación

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1987	149.80	33.80	13.20	0.00	0.00	2.80	16.10	0.00	0.10	10.70	14.90	12.20
1988	94.10	9.20	56.10	7.61	0.50	0.00	0.01	0.00	0.10	3.30	3.30	36.90
1989	73.30	100.20	80.13	40.37	0.53	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.50	1.80
1990	61.50	12.00	47.60	15.20	3.30	59.20	0.00	0.05	0.08	1.35	3.41	61.43
1991	114.80	50.50	73.00	17.10	0.00	21.40	0.00	0.00	0.00	13.30	22.50	19.30
1992	39.90	15.10	0.30	0.30	0.00	2.10	0.00	1.60	0.02	10.00	19.60	62.80
1993	125.30	60.53	84.15	11.06	0.71	0.36	0.20	25.54	1.00	13.22	20.60	82.70
1994	134.20	163.40	39.30	40.60	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.20	48.90
1995	77.30	25.80	112.90	24.50	0.60	0.00	0.00	0.00	1.40	9.70	10.90	46.80
1996	80.60	128.00	66.70	25.40	4.30	0.00	0.00	0.00	0.70	0.10	40.42	38.21
1997	130.00	187.80	86.00	10.82	10.60	0.00	0.00	20.60	28.80	0.00	5.41	50.88
1998	176.20	63.20	16.22	3.79	0.00	2.34	0.00	0.03	0.00	0.70	26.96	47.44
1999	54.20	235.10	136.30	33.90	0.00	0.00	0.00	0.00	18.90	9.60	0.00	56.20
2000	124.20	130.90	69.70	9.10	4.70	0.00	0.10	0.00	0.00	15.60	8.40	32.70
2001	106.40	161.30	117.00	49.60	0.20	1.60	0.00	2.70	0.50	9.90	10.40	30.30
2002	67.60	109.30	118.00	44.30	1.00	4.20	13.20	0.00	0.00	8.10	39.40	46.80
2003	45.80	83.80	76.50	16.60	9.80	0.00	0.00	3.10	0.40	0.60	5.70	39.50
2004	97.80	100.70	55.50	12.20	0.00	0.30	21.50	6.80	2.70	0.00	0.00	46.30
2005	42.80	149.20	61.50	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	1.00	14.90	73.30
2006	111.50	136.30	119.70	30.90	0.30	0.00	0.00	0.00	0.20	18.50	24.80	44.90
2007	67.40	96.20	121.40	9.90	0.60	0.00	0.00	0.00	0.70	3.10	8.10	38.90
2008	118.50	44.90	56.30	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.60
2009	64.70	138.00	63.20	30.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.00	22.20
2010	92.30	125.40	40.90	5.70	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	5.70	1.20	80.30
2011	100.00	158.70	42.90	44.60	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	105.00
2012	160.90	154.50	112.10	62.70	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	18.20	6.50	117.40
2013	138.60	101.30	44.30	0.00	6.70	12.40	3.90	3.80	0.00	0.00	1.20	68.50

Tabla 30: Precipitación Estación Cairani

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1966	48.81	106.41	50.10	0.02	1.54	0.00	0.00	0.01	0.68	52.30	18.44	51.25
1967	92.16	133.63	76.62	25.34	0.55	0.05	12.58	0.06	2.11	24.47	1.26	42.94
1968	110.46	122.97	167.18	6.54	0.49	0.21	0.14	0.01	0.02	15.75	31.77	46.27
1969	99.60	116.08	67.72	15.89	0.00	0.00	0.00	3.43	0.88	0.02	22.21	80.25
1970	109.12	98.59	66.26	8.65	1.33	0.02	0.00	0.00	0.00	14.14	0.18	33.02
1971	107.51	158.50	58.64	3.83	0.00	0.00	0.00	0.01	0.18	1.91	32.87	94.32
1972	206.87	163.07	148.46	20.93	0.00	0.00	0.01	0.00	6.53	21.28	2.17	142.46
1973	239.35	169.80	90.64	21.48	0.00	0.00	0.00	25.37	2.01	3.96	1.09	23.86
1974	260.85	160.90	60.02	27.09	0.00	1.29	0.00	118.14	1.32	0.24	29.77	47.78
1975	104.51	135.13	71.08	22.08	0.87	0.08	0.00	0.00	0.05	0.05	0.60	153.31

...continuación

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1976	148.51	137.79	81.54	6.52	0.63	0.00	0.00	3.31	0.88	0.50	1.15	52.32
1977	72.35	97.74	83.64	11.83	0.00	0.00	0.00	0.01	1.42	22.25	26.91	46.05
1978	139.92	66.90	44.85	14.01	0.00	0.00	6.38	3.16	0.03	4.82	22.87	40.23
1979	82.12	40.88	112.48	3.71	0.00	0.00	0.00	6.32	0.02	40.54	3.31	83.14
1980	77.98	64.89	83.81	16.41	0.02	0.00	0.28	0.21	0.24	36.66	11.09	35.29
1981	82.67	137.12	40.25	41.56	0.03	0.05	0.00	53.10	0.30	0.20	16.55	63.94
1982	97.60	84.72	38.34	10.51	0.01	0.00	0.00	0.00	4.43	34.98	14.65	37.60
1983	50.49	40.33	42.89	4.99	0.02	0.07	0.01	0.06	0.97	0.06	0.45	43.51
1984	111.46	182.29	129.44	3.52	0.17	0.47	0.00	6.52	0.17	30.48	38.52	31.35
1985	60.11	184.93	94.05	75.38	4.60	0.30	0.00	2.56	0.35	0.05	54.24	221.56
1986	138.65	118.63	57.39	2.27	0.15	0.00	0.10	6.82	0.05	0.24	8.72	327.70
1987	254.90	86.09	24.63	0.37	0.00	0.13	18.66	0.03	0.30	15.40	7.92	26.22
1988	96.33	49.25	91.82	2.85	0.16	0.00	0.04	0.01	1.19	1.24	4.77	47.32
1989	106.98	127.51	78.10	33.94	0.47	0.01	0.09	0.01	0.02	0.39	4.42	19.10
1990	61.73	72.15	49.29	15.46	0.82	1.13	0.00	0.09	0.00	2.58	16.21	59.22
1991	131.57	116.30	77.99	10.42	0.00	0.40	0.00	0.01	0.00	8.03	30.63	41.92
1992	74.18	42.86	16.86	0.50	0.00	0.71	0.00	3.63	0.38	18.56	24.48	76.20
1993	126.60	71.19	81.40	18.59	0.68	0.44	1.80	129.98	0.51	21.14	11.55	101.13
1994	85.50	100.10	120.50	48.80	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.00	138.00
1995	106.30	37.50	109.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	20.40	48.20
1996	127.30	136.20	63.80	38.20	16.50	0.00	0.00	0.00	2.60	4.70	32.60	57.30
1997	147.10	172.00	71.40	0.00	0.00	0.00	0.00	21.50	30.20	0.00	3.30	48.10
1998	114.90	46.80	45.70	0.00	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	18.30	53.60
1999	62.30	202.00	112.40	38.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.20	0.00	43.90
2000	110.80	145.10	120.70	23.20	3.50	0.50	0.00	0.30	0.00	19.30	2.70	59.70
2001	165.40	181.50	131.60	33.60	0.00	1.10	0.00	2.50	0.00	5.70	11.90	20.70
2002	74.60	159.10	115.40	39.50	1.20	0.00	17.50	0.00	0.50	6.20	25.20	49.50
2003	59.90	69.70	78.60	15.50	9.60	0.00	0.00	2.50	0.00	4.60	4.40	31.30
2004	129.30	99.00	82.10	17.60	0.00	0.00	22.90	17.10	9.90	2.10	0.00	31.50
2005	97.50	160.10	31.80	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	10.80	0.00	26.40	82.90
2006	81.90	68.00	115.60	12.60	2.90	0.00	0.00	0.00	0.70	40.80	20.50	49.90
2007	108.80	76.80	103.60	18.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.62	14.98	44.28
2008	111.63	97.75	52.47	1.38	0.00	0.00	0.00	0.50	0.08	0.15	1.15	66.56
2009	51.40	136.20	54.90	42.94	0.00	0.00	0.46	0.01	0.00	0.27	30.22	35.77
2010	70.60	87.80	22.80	2.66	1.23	0.00	0.01	0.00	0.00	2.54	3.03	74.50
2011	124.30	114.50	60.20	31.20	7.60	0.60	1.00	0.00	4.20	1.00	19.90	105.70
2012	164.50	155.80	78.70	42.70	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	7.60	4.90	139.50
2013	148.50	143.10	26.20	0.00	7.50	12.90	11.20	18.10	0.00	22.80	12.10	82.20

ANEXO 2: REGISTRO DE ESTACIONES INVENTARIADAS

Tabla 31: Estaciones inventariadas

Cod.	Nombre	Categoría	Tipo	Región	Provincia	Distrito	Sub cuenca	Institución	coordenadas este	coordenadas norte	altitud	Condición	Estado
EM-1	Ite	Co	Meteorológicas	Tacna	Jorge basadre	Ite	Bajo locumba	SENAMHI	293217	8024214	165	Operativa	Bien
EM-2	Locumba	Co	Meteorológicas	Tacna	Jorge basadre	Locumba	Medio bajo locumba	SENAMHI	312401	8051717	562	Operativa	Bien
EM-3	Ilabaya	Co	Meteorológicas	Tacna	Jorge basadre	Ilabaya	Rio ilabaya camilaca	SENAMHI	339325	8073579	1365	Operativa	Regular
EM-4	Aricota	Co	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Curibaya	Alto locumba	SENAMHI	368517	8083608	2844	Operativa	Regular
EM-5	Candarave	Co	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SENAMHI	366552	8090394	3484	Operativa	Regular
EM-6	Cairani	Pe	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Cairani	Rio ilabaya camilaca	SENAMHI	355325	8088214	3443	Operativa	Mal
EM-7	Ema candarave	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SENAMHI	366697	8090366	4102	Operativa	Bien
EM-8	Ema coranchay	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SENAMHI	362953	8107294	4100	Operativa	Bien
EM-9	Mina toquepala	Co	Meteorológicas	Tacna	Jorge basadre	Ilabaya	Medio bajo locumba	SPCC	327417	8091147	3540	Operativa	S/i
EM-10	Represa pampa vaca	Co	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Camilaca	Rio cinto	SPCC	332387	8096719	3983	Operativa	Bien
EM-11	Tacalaya	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Camilaca	Rio ilabaya camilaca	SPCC	349673	8113444	4422	Operativa	Bien
EM-12	Suche lado toquepala	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SPCC	352246	8126637	4467	Operativa	Bien
EM-13	Suche lado cuajone	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SPCC	349243	8127795	4467	Operativa	Bien
EM-14	Apacheta titijones	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SPCC	345489	8124630	4664	Operativa	Bien
EM-15	Vizcachas	Co	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba vizcachas	SPCC	367739	8133488	4600	Operativa	Bien
EM-16	Huaytire	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SPCC	353124	8130865	4458	Operativa	Bien

... continuación

Cod.	Nombre	Categoría	Tipo	Región	Provincia	Distrito	Sub cuenca	Institución	coordenadas este	coordenad as norte	altitud	Condición	Estado
EM-17	Parcela demostrati va	Pe	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Alto locumba	SPCC	355733	8127555	4450	Operativa	Bien
EM-18	Velohuta	Co	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Candarave	Rio calientes jarumas	PET	383003	8112940	4604	Operativa	Bien
EM-19	Ema puente viejo	Aut	Meteorológicas	Tacna	Jorge basadre	Locumba	Medio bajo locumba	SENAMHI	313150	8051239	558	Operativa	Bien
EM-20	Qda honda	Aut	Meteorológicas	Tacna	Candarave	Camilaca	Rio cinto	SPCC	334985	8098952	3995	Operativa	S/I
EM-21	Qda honda barcaza	Aut	Meteorológicas	Tacna	Jorge basadre	Locumba	Qda honda	SPCC	309719	8069464	1163	Operativa	S/I
EM-22	Matogroso	Co	Meteorológicas	Tacna	Jorge basadre	Locumba	Rio cinto	SENAMHI	317695	8066123	1068	No operativa	S/I

ANEXO 3: FICHAS DE INVENTARIO DE ESTACIONES

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA				
DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN				
Nombre de la Estación	ITE			
Código de la Estación	EM-1			
Vertiente	PACIFICO			
Río	LOCUMBA			
Cuenca del río	LOCUMBA			
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/JORGE BASADRE/ITE			
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 293217E 8024214N ZONA 19 L			
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA			
Periodo de Operación	1965-ACTUALIDAD			
Entidad Responsable	SENAMHI			
Nombre del Observador	---			
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN				
Tipo	CLIMATOLOGICA ORDINARIA			
Dimensiones	---			
Estado de Conservación	BUENA			
Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	FUESS	---	BUENO	
Estación automática	-	-	-	NO DISPONE
Probeta 10 mm	-	-	-	
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	-	-	BUENO	
Veleta	-	-	BUENO	
Caseta meteorológica	-	-	BUENO	
T. Bulbo seco	-	-	-	
T. Bulbo húmedo	-	-	-	
Termohigrógrafo	-	-	-	
T. Mínima	-	-	-	
T. Máxima	-	-	-	
Variables de Medición	Precipitación, evaporación, horas de sol, temperatura, humedad. Dirección del viento, velocidad del viento			
Observaciones	Cuenta además con un anemómetro cerca al tanque evaporimetro.			
Representatividad	ALTA			



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Buen estado de mantenimiento.
El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están afectadas por el cerramiento y el efecto del suelo en general.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	LOCUMBA
Código de la Estación	EM-2
Vertiente	PACIFICO
Río	LOCUMBA
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/JORGE BASADRE/LOCUMBA
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 312401 E 8051717 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	1975 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SENAMHI
Nombre del Observador	ALICIA MEDINA BECERRA

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
Dimensiones	---
Estado de Conservación	BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	FUESS	S/N	BUENO	
Estación automática	-	-	-	NO DISPONE
Probeta 10 mm	FUESS	S/N	BUENO	
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	FUESS	K-1987	BUENO	
Veleta	FUESS	S/N	BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	FUESS	100	BUENO	
T. Bulbo húmedo	FUESS	86	BUENO	
Termohigrógrafo	-	-	-	
T. Mínima	FUESS	16151/91	BUENO	
T. Máxima	FUESS	1215/12	BUENO	



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Buen estado de mantenimiento.

Variables de Medición	Precipitación, evaporación, horas de sol, temperatura, humedad. Dirección del viento, velocidad del viento
Observaciones	
Representatividad	ALTA

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	ILABAYA
Código de la Estación	EM-3
Vertiente	PACÍFICO
Río	ILABAYA
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/JORGE BASADRE/ILABAYA
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 339325E 8073579 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	1964- ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SENAMHI
Nombre del Observador	---

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA
Dimensiones	---
Estado de Conservación	BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	FUESS	S/N	BUENO	
Estación automática	-	-	-	NO DISPONE
Probeta 10 mm	-	-	-	
Tanque de evaporación	-	-	BUENA	
Heliógrafo	-	-	-	NO DISPONE
Veleta			BUENA	
Caseta meteorológica			BUENA	
T. Bulbo seco	-	-	-	
T. Bulbo húmedo	-	-	-	
Termohigrógrafo	-	-	-	
T. Mínima	-	-	-	
T. Máxima	-	-	-	

Variables de Medición	Precipitación, evaporación, temperatura, humedad. Dirección del viento, velocidad del viento
Observaciones	ADEMÁS CUENTA CON UN ANEMÓMETRO TOTALIZADOR.
Representatividad	ALTA



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Buen estado de mantenimiento.
El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están afectadas por el cerramiento y el efecto del suelo en general.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	ARICOTA
Código de la Estación	EM-4
Vertiente	PACIFICO
Río	CALLAZAS
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE/QUILAHUANI
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 368517E 8083608 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	1994 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SENAMHI
Nombre del Observador	JOSÉ NINARAQUE

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA
Dimensiones	7.85X9.8
Estado de Conservación	BUENO

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	FUESS	S/N	BUENO	
Estación automática	-	-	-	NO DISPONE
Probeta 10 mm	FUESS	S/N	BUENO	
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	VIRTUAL	D-1239	BUENO	
Veleta	FUESS	S/N	BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	THIES	2135/00	BUENO	
T. Bulbo húmedo	THIES	2181/00	BUENO	
Termohigrógrafo	FISCHER	570	BUENO	
T. Mínima	THIES	1478/00	BUENO	
T. Máxima	FUESS	1234/12	MALO	



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Regular estado de mantenimiento, se requiere cortar la hierba. El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están afectadas por el cerramiento y el efecto del suelo en general.

Variables de Medición	Precipitación, evaporación, horas de sol, temperatura, humedad. Dirección del viento, velocidad del viento
Observaciones	ADEMAS CUENTA CON UN ANEMÓMETRO TOTALIZADOR
Representatividad	ALTA

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN				
Nombre de la Estación	CANDARAVE			
Código de la Estación	EM-5			
Vertiente	PACIFICO			
Río	CALLAZAS			
Cuenca del río	LOCUMBA			
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE			
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 366552E 8090394 N ZONA 19 L			
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA			
Periodo de Operación	1964 - ACTUALIDAD			
Entidad Responsable	SENAMHI			
Nombre del Observador	FROYLAN CÁCERES			
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN				
Tipo	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA			
Dimensiones	---			
Estado de Conservación	BUENA			
Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	FUESS	S/N	BUENO	
Estación automática	-	-	-	NO DISPONE
Probeta 10 mm	FUESS	S/N	BUENO	
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	CASELLA	859909	BUENO	
Veleta	FUESS	S/N	BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	SIAP	19 N/S 1034/1	BUENO	
T. Bulbo húmedo	SIAP	20 N/S 1034/2	BUENO	
Termohigrógrafo	FISCHER	545	BUENO	
T. Mínima	SIAP	19 N/S 612	BUENO	
T. Máxima	SIAP	20 N/S 641	BUENO	
Variables de Medición	Precipitación, evaporación, horas de sol, temperatura, humedad. Dirección del viento, velocidad del viento			
Observaciones	A PARTE DE LOS INSTRUMENTOS MENCIONADOS EN LA LISTA, SE TIENE: PSICROMETRO, TRIPODE, T. MÁXIMA, T. MÍNIMA Y ANEMÓMETRO TOTALIZADOR.			
Representatividad	ALTA			



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Buen estado de mantenimiento.
El anemómetro está situado a menos de medio metro del suelo, por lo que las lecturas de la velocidad del viento están afectadas por el cerramiento y el efecto del suelo en general.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	CAIRANI
Código de la Estación	EM-6
Vertiente	PACIFICO
Río	CAMILACA
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE/CAIRANI
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 355325E 8088214 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	1964 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SENAMHI
Nombre del Observador	---

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	PROPÓSITOS ESPECÍFICOS
Dimensiones	SIN LIMITES
Estado de Conservación	REGULAR

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	FUESS	S/N	BUENO	
Estación automática	-	-	-	NO DISPONE
Probeta 10 mm	-	-	-	
Tanque de evaporación	-	-	REGULAR	
Heliógrafo	-	-	NO DISPONE	
Veleta	-	-	NO DISPONE	
Caseta meteorológica	-	-	BUENO	
T. Bulbo seco	-	-		
T. Bulbo húmedo	-	-		
Termohigrógrafo	-	-		
T. Mínima	-	-		
T. Máxima	-	-		
Variables de Medición	Precipitación, evaporación, temperatura.			
Observaciones	NO SE ECUENTRA UNA CERCA EN EL PERÍMETRO DE LA ESTACIÓN			
Representatividad	ALTA			



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Regular estado de mantenimiento.
 Los equipos están protegidos únicamente con un cercado de madera artesanal, fácilmente traspasable por cualquier persona o animal.
 Sería recomendable instalar un cerco perimetral de protección.
 El tanque de evaporación no tiene agua y presenta oxidación.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	CANDARAVE
Código de la Estación	EM-7
Vertiente	PACIFICO
Río	CALLAZAS
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 366697E 8090366 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2014 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SENAMHI
Nombre del Observador	---

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	AUTOMÁTICA
Dimensiones	8X10 m
Estado de Conservación	BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	YOUNG		MUY BUENO	
Estación automática	SIAP+MICROS		MUY BUENO	
Probeta 10 mm	-	-	-	
Tanque de evaporación	-	-	-	NO DISPONE
Heliógrafo	-	-	-	NO DISPONE
Veleta	YOUNG		MUY BUENO	
Caseta meteorológica	-	-	-	NO DISPONE
T. Bulbo seco	-	-	-	
T. Bulbo húmedo	-	-	-	
Termohigrógrafo	-	-	-	
T. Mínima	-	-	-	
T. Máxima	-	-	-	
Variables de Medición	Precipitación, Velocidad y dirección del viento, termómetro, higrómetro			
Observaciones	CUENTA CON UN PANEL SOLAR QUE SUMINISTRA ENERGÍA			
Representatividad	ALTA			



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática con transmisión satelital, panel solar.
Buen estado de mantenimiento.

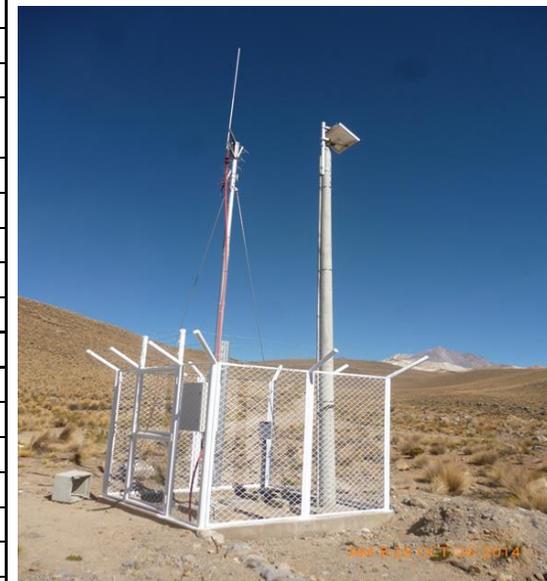
FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	CORANCHAY
Código de la Estación	EM-8
Vertiente	PACIFICO
Río	CALLAZAS
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 362953E 8107294 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2014 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SENAMHI
Nombre del Observador	---

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	AUTOMATICA				
Dimensiones	2.6X2.7 m				
Estado de Conservación	BUENA				
	Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	YOUNG	TB 10750	MUY BUENA		
Estación automática	SIAP+MICROS		MUY BUENA		
Probeta 10 mm	-				
Tanque de evaporación	-	-	-	-	NO DISPONE
Heliógrafo	-	-	-	-	NO DISPONE
Veleta	-	-	-	-	NO DISPONE
Caseta meteorológica	-	-	-	-	NO DISPONE
T. Bulbo seco	-	-	-	-	
T. Bulbo húmedo	-	-	-	-	
Termohigrógrafo	-	-	-	-	
T. Mínima	-	-	-	-	
T. Máxima	-	-	-	-	
Variables de Medición	Precipitación				
Observaciones	CUENTA CON UN PANEL SOLAR QUE PROVEE DE ENERGIA. FORMA PARTE DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN.				
Representatividad	ALTA				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática con transmisión satelital, panel solar.
Buen estado de mantenimiento.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	PAMPA VACA
Código de la Estación	EM-10
Vertiente	PACIFICO
Río	QUEBRADA HONDA
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE/CAMILACA
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 332387E 8096719 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2000 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SPCC
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA
Dimensiones	10 X 7 metros
Estado de Conservación	MUY BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	NACIONAL	S/N	BUENO	
Estación automática	CAMPBELL SCI	9535	BUENO	
Probeta 10 mm	-	-		
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	-			
Veleta	YOUNG		BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	Psicrometro Psychro-Dyne	CP106282	BUENO	
T. Bulbo húmedo	Psicrometro Psychro-Dyne	CP106283	BUENO	
Termohigrógrafo	-			
T. Mínima	Termometro Cole Parmer	101949430	BUENO	
T. Máxima	Termometro Cole Parmer	101949430	BUENO	

Variables de Medición	Precipitación
Observaciones	
Representatividad	



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática sin señal satelital.
Buen estado de mantenimiento.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	TACALAYA
Código de la Estación	EM-11
Vertiente	PACIFICO
Río	TACALAYA
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE/CAMILACA
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 351057 E 8112846 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2000 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SPCC
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	METEOROLOGICO AUTOMATICO TELEMETRICA
Dimensiones	50X50
Estado de Conservación	MUY BUENO

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	NACIONAL	S/N	BUENO	
Estación automática	CAMPBELL SCI	51728	BUENO	
Probeta 10 mm	-	-		
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	-			
Veleta	YOUNG		MUY BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
T. Bulbo húmedo	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
Termohigrógrafo	-			
T. Mínima	Termometro Cole Parmer	101949446	BUENO	
T. Máxima	Termometro Cole Parmer	101949446	BUENO	
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones				
Representatividad				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática.
Buen estado de mantenimiento.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	TOQUEPALA
Código de la Estación	EM-12
Vertiente	PACIFICO
Río	LAGUNA SUCHES
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 352160E 8126929 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2000 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SPCC
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	AUTOMÁTICA
Dimensiones	10 X 07 metros
Estado de Conservación	MUY BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	TEXAS ELECTRONICS	S7N	MUY BUENO	
Estación automática	CAMPBELL SCI	9538	MUY BUENO	
Probeta 10 mm				
Tanque de evaporación				
Heliógrafo	KIPP & ZONNEN	-	MUY BUENO	
Veleta	YOUNG	-	MUY BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	-	BUENO	
T. Bulbo seco	Psicrometro Psychro-Dyne	-	BUENO	
T. Bulbo húmedo	Psicrometro Psychro-Dyne	-	BUENO	
Termohigrógrafo	-	-		
T. Mínima	Termometro Cole Parmer	101949448	BUENO	
T. Máxima	Termometro Cole Parmer	101949448	BUENO	
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones				
Representatividad				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática.
Falta de espacio se recomienda un minimo de 6x9 metros
Buen estado de mantenimiento.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN	
Nombre de la Estación	CUAJONE
Código de la Estación	EM-13
Vertiente	PACIFICO
Río	LAGUNA SUCHES
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 349243E 8127795 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2000 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SPCC
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN				
Tipo	AUTOMÁTICA			
Dimensiones	10 X 07 metros			
Estado de Conservación	BUENA			
Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	TEXAS ELECTRONICS	S/N	MUY BUENO	
Estación automática	CAMPBELL SCI	21449	MUY BUENO	
Probeta 10 mm				
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	-			
Veleta	YOUNG		MUY BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
T. Bulbo húmedo	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
Termohigrógrafo	-			
T. Mínima	Termometro Cole Parmer	101664420	BUENO	
T. Máxima	Termometro Cole Parmer	101664420	BUENO	
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones				
Representatividad				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES
Estación automática sin señal satelital. Buen estado de mantenimiento.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	APACHOTA TITIJONES
Código de la Estación	EM-14
Vertiente	PACIFICO
Río	HUAYTIRE
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 345489E 8124630 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2000 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SPCC
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	AUTOMÁTICA
Dimensiones	
Estado de Conservación	MUY BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	TEXAS ELECTRONICS	-	MUY BUENO	
Estación automática	CAMPBELL SCI	51164	MUY BUENO	
Probeta 10 mm				
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	-			
Veleta	YOUNG		MUY BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
T. Bulbo húmedo	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
Termohigrógrafo	-			
T. Mínima	Termometro Cole Parmer	101824364	BUENO	
T. Máxima	Termometro Cole Parmer	101824364	BUENO	
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones				
Representatividad				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática con suficiente área, y el pluviómetro a una buena altura.
Buen estado de mantenimiento y con suficiente área para los equipos.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	VIZCACHAS
Código de la Estación	EM-15
Vertiente	PACIFICO
Río	LAGO VIXCACHAS
Cuenca del río	CUENCA ENDORREICA VIZCACHAS
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	MOQUEGUA/MARICAL NIETO/CARUMAS
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 370149 E 8123575 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2000 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SPCC
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	METEOROLOGICA
Dimensiones	10 X 07 metros
Estado de Conservación	MUY BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	TEXAS ELECTRONICS	-	MUY BUENO	
Estación automática	CAMPBELL SCI	21448	MUY BUENO	
Probeta 10 mm				
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	-			
Veleta	YOUNG		MUY BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
T. Bulbo húmedo	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
Termohigrógrafo	-			
T. Mínima	Termometro Cole Parmer	S/N	BUENO	
T. Máxima	Termometro Cole Parmer	S/N	BUENO	
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones	RADIOMETROS			
Representatividad				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática sin señal satelital, buena área para los equipos.
Buen estado de mantenimiento.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN				
Nombre de la Estación	HUAYTIRE TP3S			
Código de la Estación	EM-16			
Vertiente	PACIFICO			
Río	LAGUNA SUCHES			
Cuenca del río	LOCUMBA			
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE/CANDARAVE			
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 353124 E 8130865 N ZONA 19 L			
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA			
Periodo de Operación	2000 - ACTUALIDAD			
Entidad Responsable	SPCC			
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola			
CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN				
Tipo	METEOROLOGICO AUTOMATICA			
Dimensiones	10 X 07 metros			
Estado de Conservación	MUY BUENO			
Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	TEXAS ELECTRONICS	S/N	MUY BUENO	
Estación automática	CAMPBELL SCI	9537	MUY BUENO	
Probeta 10 mm				
Tanque de evaporación	NACIONAL	S/N	BUENO	
Heliógrafo	-			
Veleta	YOUNG		MUY BUENO	
Caseta meteorológica	NACIONAL	S/N	BUENO	
T. Bulbo seco	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
T. Bulbo húmedo	Psicrometro Psychro-Dyne	S/N	BUENO	
Termohigrógrafo	-			
T. Mínima	Termometro Cole Parmer	101542277	BUENO	
T. Máxima	Termometro Cole Parmer	101542277	BUENO	
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones				
Representatividad				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Estación automática, buena área de espacio para los equipos, buena distancia de la caseta meteorológica. Buen estado de mantenimiento.

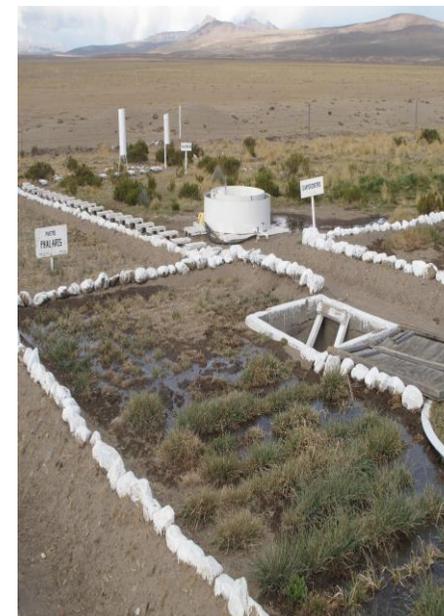
FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	PARCELA DEMOSTRATIVA
Código de la Estación	EM-17
Vertiente	PACIFICO
Río	LAGUNA SUCHES
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 355302E 8131601 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	---
Entidad Responsable	SPCC
Nombre del Gerente Responsable	Ing. José Nicolas de Pierola

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	PROPÓSITOS ESPECÍFICOS			
Dimensiones				
Estado de Conservación	MUY BUENA			
Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	-	-	BUENO	
Estación automática				NO DISPONE
Probeta 10 mm				
Tanque de evaporación	-	-	MUY BUENO	
Heliógrafo				NO DISPONE
Veleta				
Caseta meteorológica	-	-	BUENO	
T. Bulbo seco	-	-	-	
T. Bulbo húmedo	-	-	-	
Termohigrógrafo	-	-	-	
T. Mínima	-	-	-	
T. Máxima	-	-	-	
VARIABLES DE MEDICIÓN	Precipitación			
Observaciones	EXISTE UN LISIMETRO EN BUEN ESTADO, SE ENCUENTRA UN INVERNADERO Y UN POZO DE AGUA SUBTERRANEA			
Representatividad				



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Dispone de: caseta meteorológica con termómetro e higrómetro, pluviómetro, tanque de evaporación y lisímetro. Buen estado de mantenimiento.

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	VELOHUTA
Código de la Estación	EM-18
Vertiente	PACIFICO
Río	CALIENTES
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/CANDARAVE/CANDARAVE
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 383003 E 8112940 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2010 - ACTUALIDAD
Entidad Responsable	PET
Nombre del Observador	--

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	CLIMATOLOGICA ORDINARIA
Dimensiones	10 X 6 M
Estado de Conservación	BUENA

Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	-	-	MUY BUENA	
Estación automática	-	-		NO DISPONE
Probeta 10 mm	-	-		
Tanque de evaporación	-	-	MUY BUENO	REJILLAS DE PROTECCION OXIDADO
Heliógrafo				NO DISPONE
Veleta				NO DISPONE
Caseta meteorológica	-	-	BUENO	
T. Bulbo seco	-	-	-	
T. Bulbo húmedo	-	-	-	
Termohigrógrafo	-	-	-	
T. Mínima	-	-	-	
T. Máxima	-	-	-	
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones	ES BUEN ESTADO Y BUENA UBICACIÓN			
Representatividad	ALTA			



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Dispone de: caseta meteorológica, tanque de evaporación, pluviómetro.
 Cambiar el techo de calamina de la caseta meteorológica por tejas u otro material que no transmita la radiación.
 Continuar las labores de mantenimiento periódicamente.

Acceptable estado de mantenimiento.
 Presenta un buen pluviómetro, a una altura adecuada y buena separación entre equipos

FICHA TÉCNICA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS - CUENCA LOCUMBA

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN

Nombre de la Estación	EMA PUENTE VIEJO
Código de la Estación	EM-19
Vertiente	PACIFICO
Río	LOCUMBA
Cuenca del río	LOCUMBA
Ubicación política (Región/Provincia/Distrito)	TACNA/JORGE BASADRE/LOCUMBA
Ubicación geográfica	COORDENADAS UTM: 313150E 805239 N ZONA 19 L
Condición (Operativa/No Operativa)	OPERATIVA
Periodo de Operación	2014-ACTUALIDAD
Entidad Responsable	SENAMHI
Nombre del Observador	---

CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN

Tipo	AUTOMATICA			
Dimensiones	2.6 X 2.7			
Estado de Conservación	BUENA			
Instrumental	Marca	Serie	Estado de Conservación	Observaciones
Pluviómetro	YOUNG	---	MUY BUENO	
Estación automática	SIAP+MICROS	---	MUY BUENO	
Probeta 10 mm	---	---		
Tanque de evaporación	---	---	NO DISPONE	
Heliógrafo	---	---	NO DISPONE	
Veleta	---	---	NO DISPONE	
Caseta meteorológica	---	---	NO DISPONE	
T. Bulbo seco	---	---		
T. Bulbo húmedo	---	---		
Termohigrógrafo	---	---		
T. Mínima	---	---		
T. Máxima	---	---		
Variables de Medición	Precipitación			
Observaciones	FORMA PARTE DEL PROYECTO DE MODERNIZACION DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS			
Representatividad	ALTA			



COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Dispone de: pluviómetro.
 Puesto que el pluviómetro está automatizado, aquí podemos recomendar elevarlo lo más posible (recomendable elevación de 1,5-2 m) para no sea afectado por el efecto del suelo y el cerramiento sobre el viento especialmente por estar en un espacio reducido donde la caja de comandos puede afectar el funcionamiento del pluviómetro.
 Estación automática, con transmisión satelital.
 Buen estado de mantenimiento.

ANEXO 4: HISTOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN

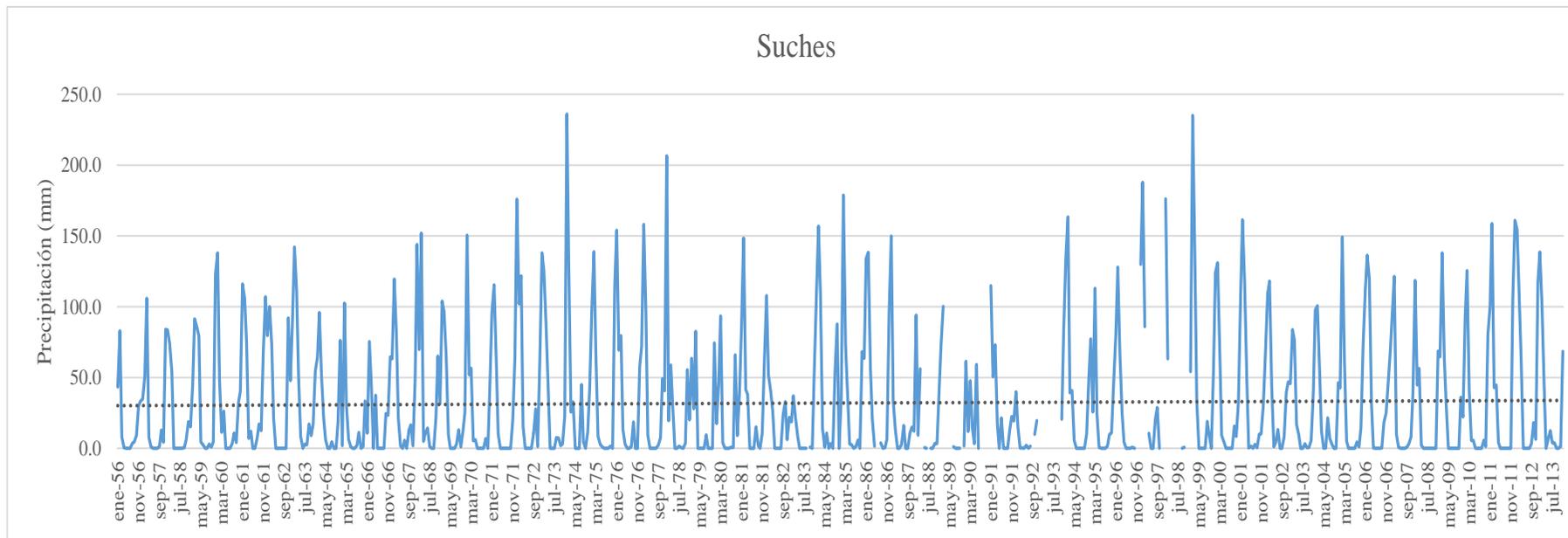


Figura 40: Histograma de precipitación de la estación Suches

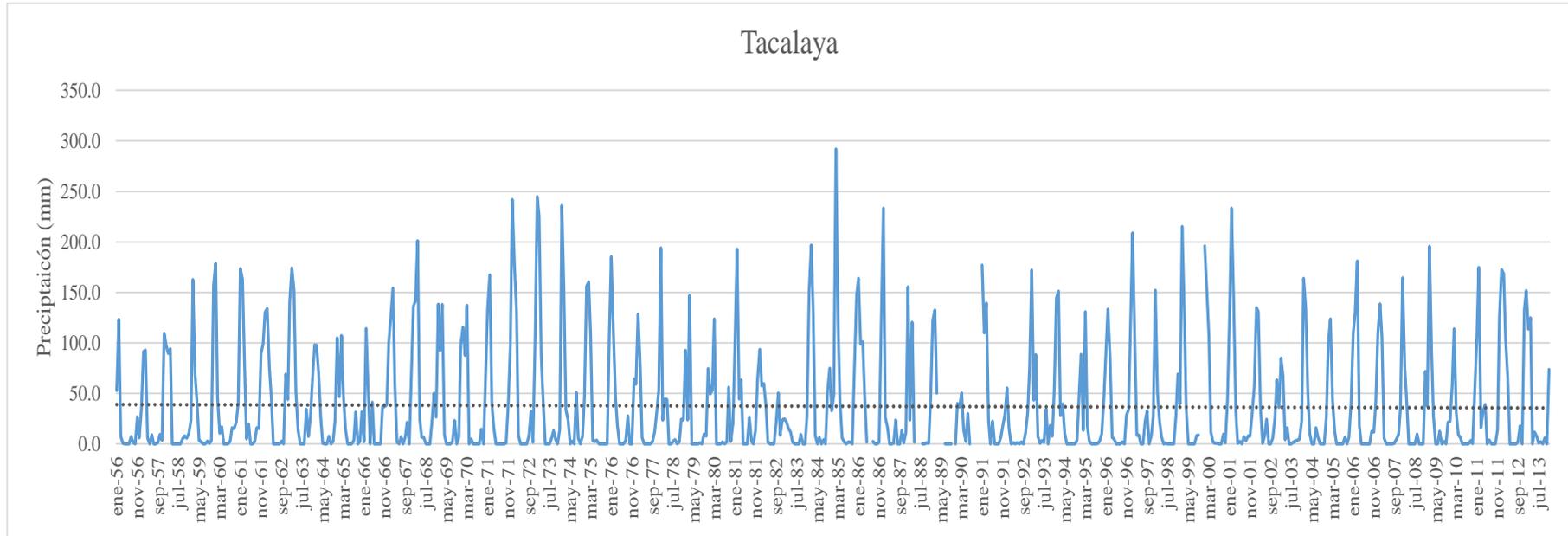
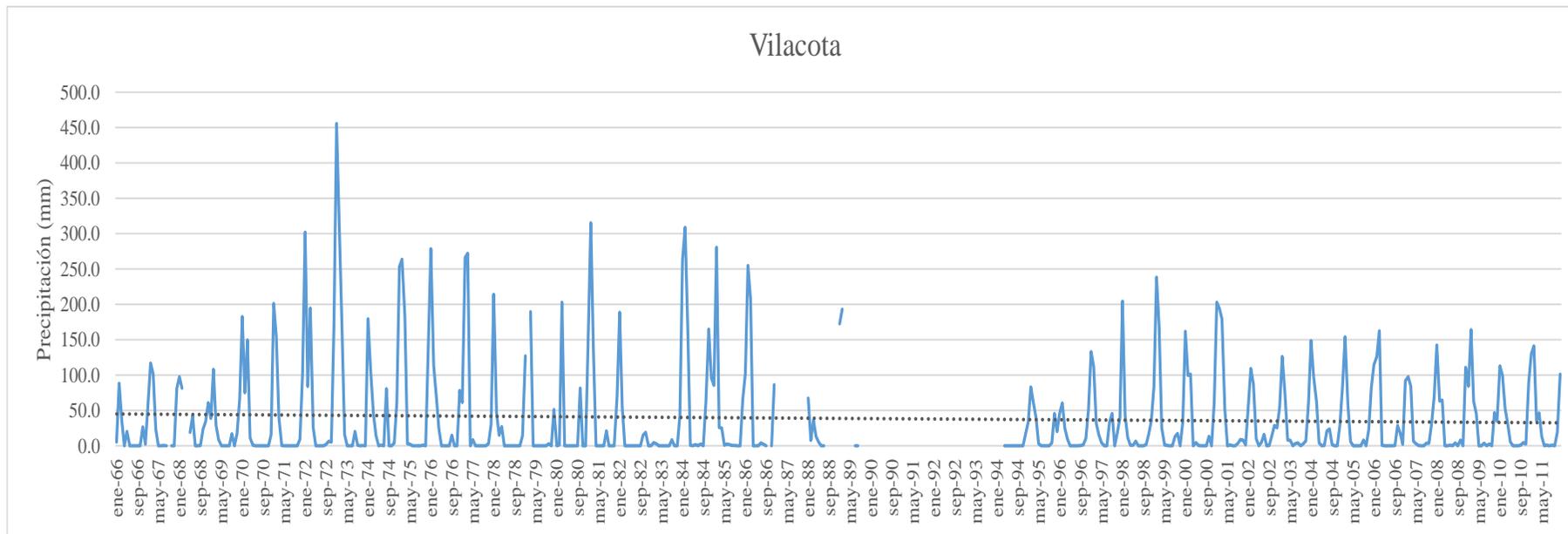


Figura 41: Histograma de precipitación de la estación Tacalaya



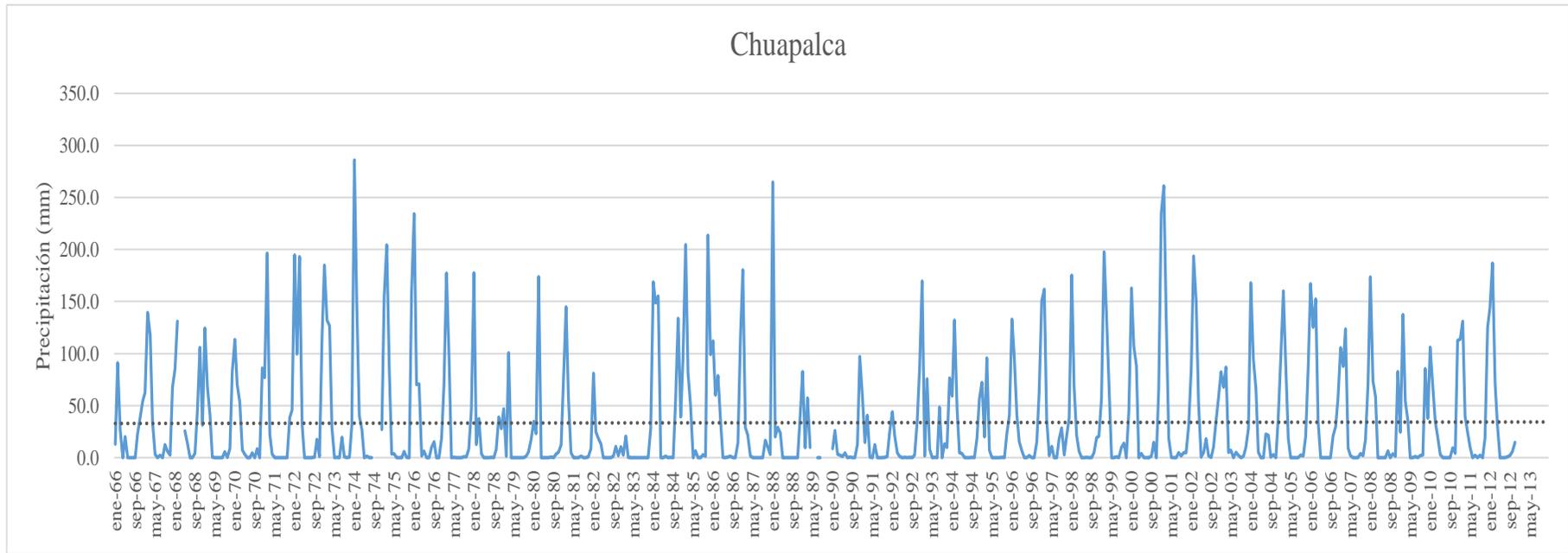


Figura 43: Histograma de precipitación de la estación Chuapalca

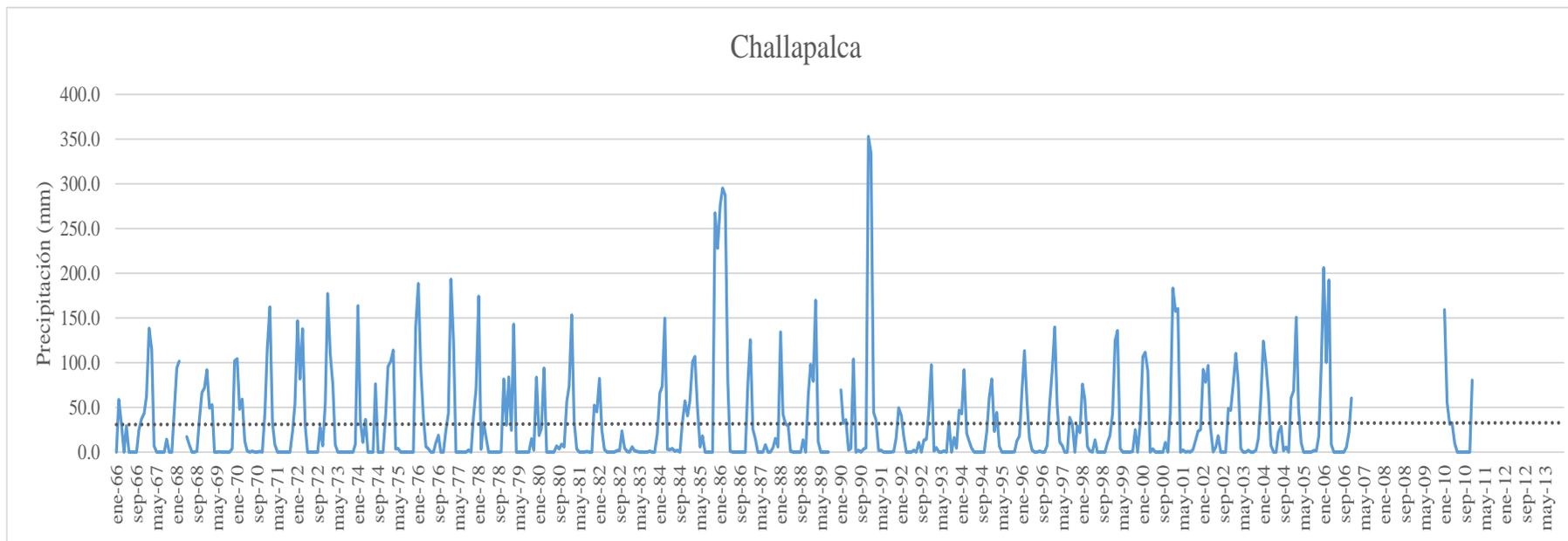


Figura 44: Histograma de precipitación de la estación Challapalca

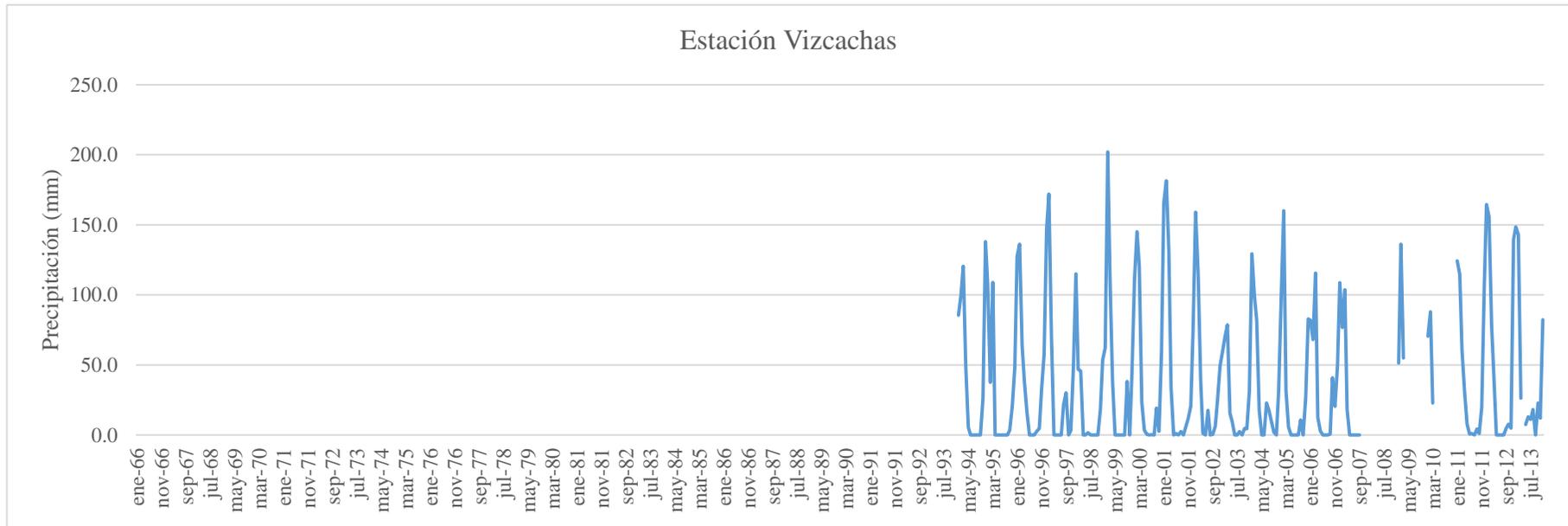


Figura 45: Histograma de precipitación de la estación Vizcachas

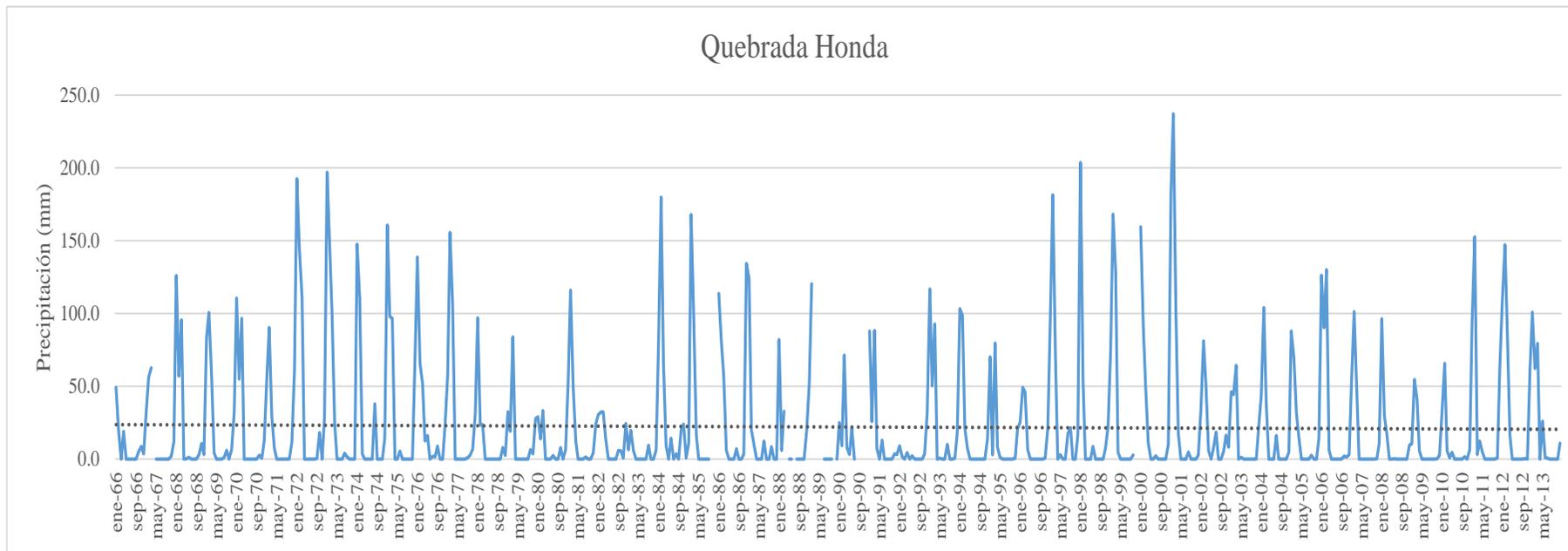


Figura 46: Histograma de precipitación de la estación Quebrada Honda

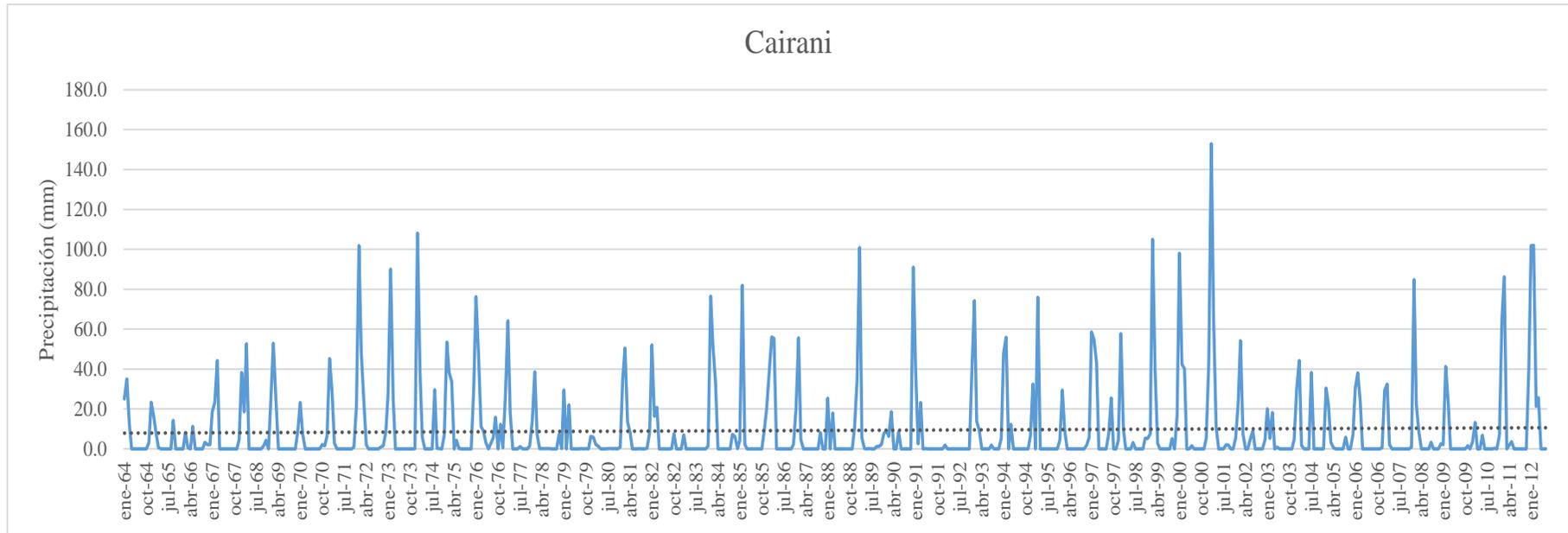


Figura 47: Histograma de precipitación de la estación Cairani

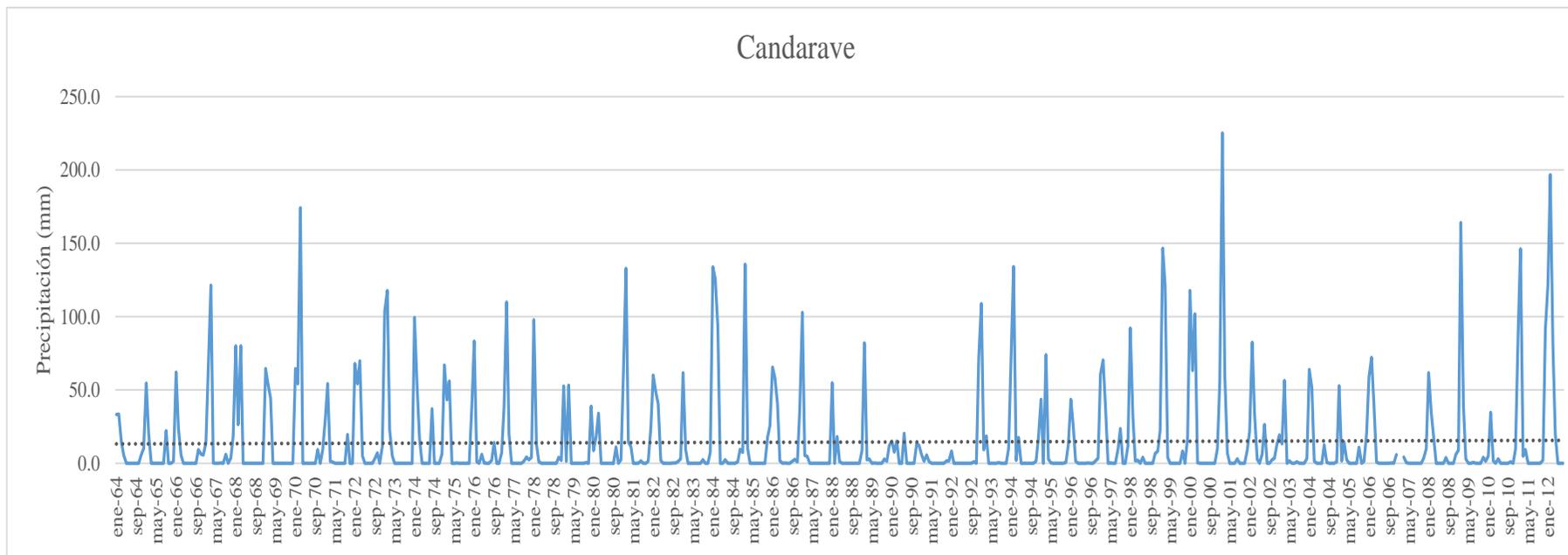


Figura 48: Histograma de precipitación de la estación Candarave

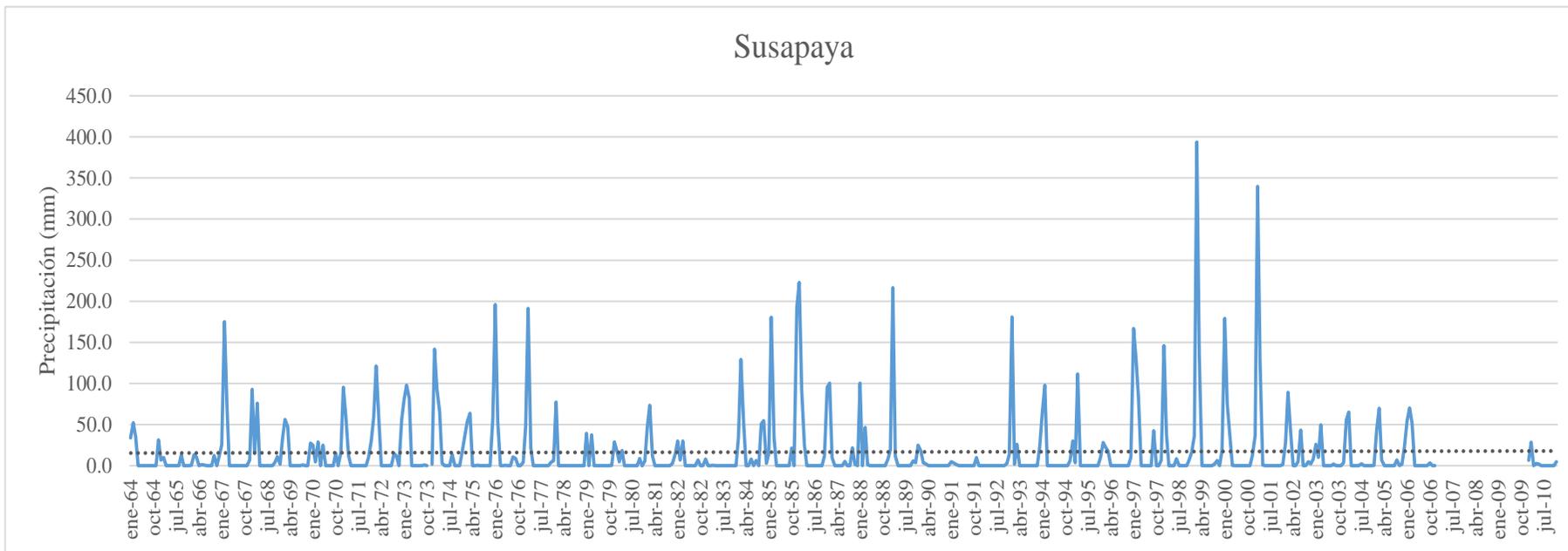


Figura 50: Histograma de precipitación de la estación Susapaya

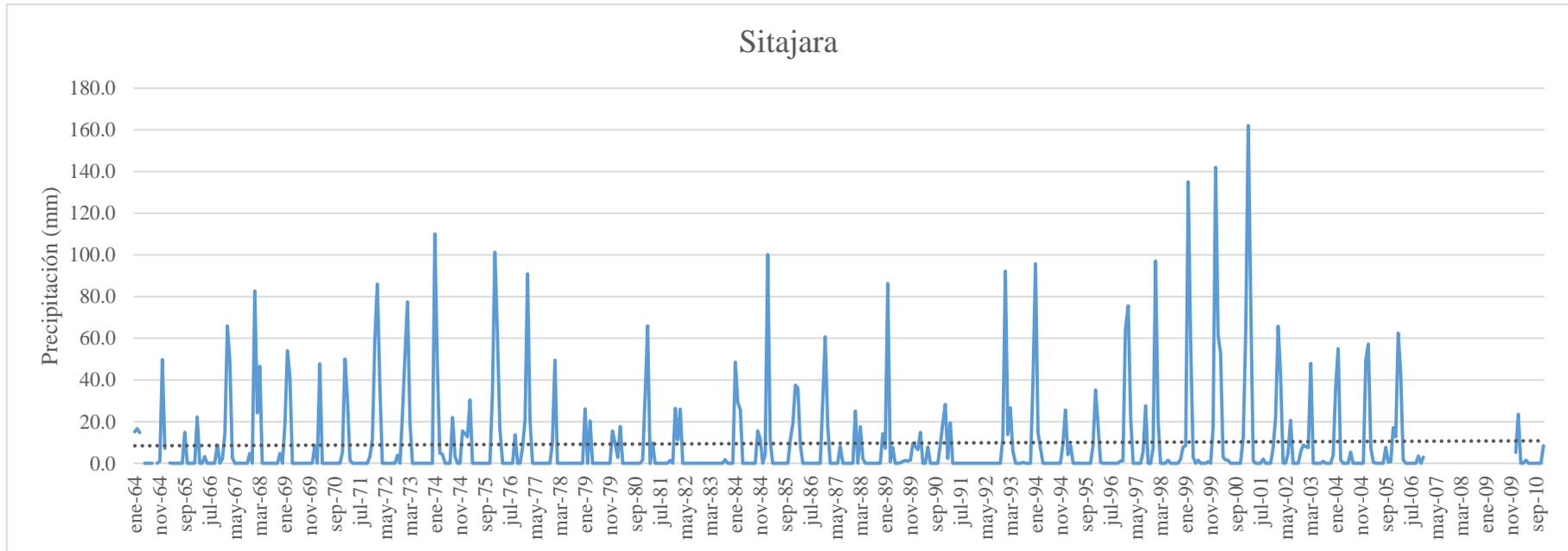


Figura 51: Histograma de precipitación de la estación Sitajara

ANEXO 5: PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL

Tabla 32: Pruebas Estadísticas de T-Student y F-Fisher

ESTACCIÓN SUCHES

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	384.27	396.13
Varianza	9914.98	6954.09
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	8434.53	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	-0.447	
P(T<=t) una cola	0.328	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.657	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	384.27	396.13
Varianza	9914.98	6954.09
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	1.426	
P(F<=f) una cola	0.201	
Valor crítico para F (una cola)	2.014	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

ESTACCIÓN TACALAYA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	467.48	426.80
Varianza	21588.39	12513.38
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	17050.88	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	1.079	
P(T<=t) una cola	0.143	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.286	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	467.48	426.80
Varianza	21588.39	12513.38
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	1.73	
P(F<=f) una cola	0.10	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN QUEBRADA HONDA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	267.40	252.82
Varianza	14404.39	12176.45
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	13290.42	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	0.438	
P(T<=t) una cola	0.332	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.663	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	267.40	252.82
Varianza	14404.39	12176.45
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	1.18	
P(F<=f) una cola	0.35	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN CHUAPALCA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	389.33	402.21
Varianza	28812.33	18509.47
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	23660.90	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	-0.290	
P(T<=t) una cola	0.386	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.773	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	389.33	402.21
Varianza	28812.33	18509.47
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	1.56	
P(F<=f) una cola	0.15	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN CHALLAPALCA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	353.05	366.26
Varianza	21970.71	13778.84
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	17874.77	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	-0.342	
P(T<=t) una cola	0.367	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.734	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	353.05	366.26
Varianza	21970.71	13778.84
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	1.59	
P(F<=f) una cola	0.14	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN SUSAPAYA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	207.79	199.67
Varianza	14683.81	20489.00
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	17586.40	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	0.212	
P(T<=t) una cola	0.416	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.833	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	207.79	199.67
Varianza	14683.81	20489.00
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	0.72	
P(F<=f) una cola	0.22	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN CAIRANI

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	106.73	111.54
Varianza	3252.04	3602.90
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	3427.47	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	-0.285	
P(T<=t) una cola	0.389	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.777	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	106.73	111.54
Varianza	3252.04	3602.90
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	0.90	
P(F<=f) una cola	0.40	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN CANDARAVE

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	174.06	170.00
Varianza	5578.15	8346.52
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	6962.34	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	0.169	
P(T<=t) una cola	0.433	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.867	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	174.06	170.00
Varianza	5578.15	8346.52
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	0.67	
P(F<=f) una cola	0.17	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN VILACOTA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	515.43	430.39
Varianza	58664.00	8209.24
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	33436.62	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	1.611	
P(T<=t) una cola	0.057	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.114	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	515.43	430.39
Varianza	58664.00	8209.24
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	1.15	
P(F<=f) una cola	0.08	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN SITAJARA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	107.14	125.79
Varianza	3148.00	5347.15
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	4247.57	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	-0.992	
P(T<=t) una cola	0.163	
Valor crítico de t (una cola)	1.679	
P(T<=t) dos colas	0.327	
Valor crítico de t (dos colas)	2.013	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
F-FISHER		
Media	107.14	125.79
Varianza	3148.00	5347.15
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	23
F	0.59	
P(F<=f) una cola	0.11	
Valor crítico para F (una cola)	2.01	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN TOQUEPLA

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	130.29	132.16
Varianza	7840.60	5976.75
Observaciones	19	18
Varianza agrupada	6935.30	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	35	
Estadístico t	-0.068	
P(T<=t) una cola	0.473	
Valor crítico de t (una cola)	1.690	
P(T<=t) dos colas	0.946	
Valor crítico de t (dos colas)	2.030	

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1985	1986-2002
F-FISHER		
Media	130.29	132.16
Varianza	7840.60	5976.75
Observaciones	19	18
Grados de libertad	18	17
F	1.31	
P(F<=f) una cola	0.29	
Valor crítico para F (una cola)	2.26	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ESTACIÓN VIZCACHAS

PRUEBA	PERIODO	
	1966-1989	1990-2013
T-STUDENT		
Media	440.52	459.63
Varianza	10863.55	3424.74
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	7144.14	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	-0.506	
P(T<=t) una cola	0.310	
Valor crítico de t (una cola)	1.734	
P(T<=t) dos colas	0.619	
Valor crítico de t (dos colas)	2.101	

PRUEBA	PERIODO	
	1994-2004	2014-2013
F-FISHER		
Media	440.52	459.63
Varianza	10863.55	3424.74
Observaciones	10	10
Grados de libertad	9	9
F	3.17	
P(F<=f) una cola	0.05	
Valor crítico para F (una cola)	3.18	

Resultados:

Homogeneidad en el valor medio

Homogeneidad en la variancia

ANEXO 6: CORRELACIÓN ENTRE ESTACIONES

Tabla 33: Correlación Cairani

Estaciones	Coef. Correlación	Distancia (Km)
Cairani - Candarave	0.75	13.65
Cairani - Toquepala	0.58	28.59
Cairani - Qda Honda	0.71	18.52
Cairani - Tacalaya	0.72	24.08
Cairani - Suches	0.74	42.86
Cairani - Vizcachas	0.57	47.97

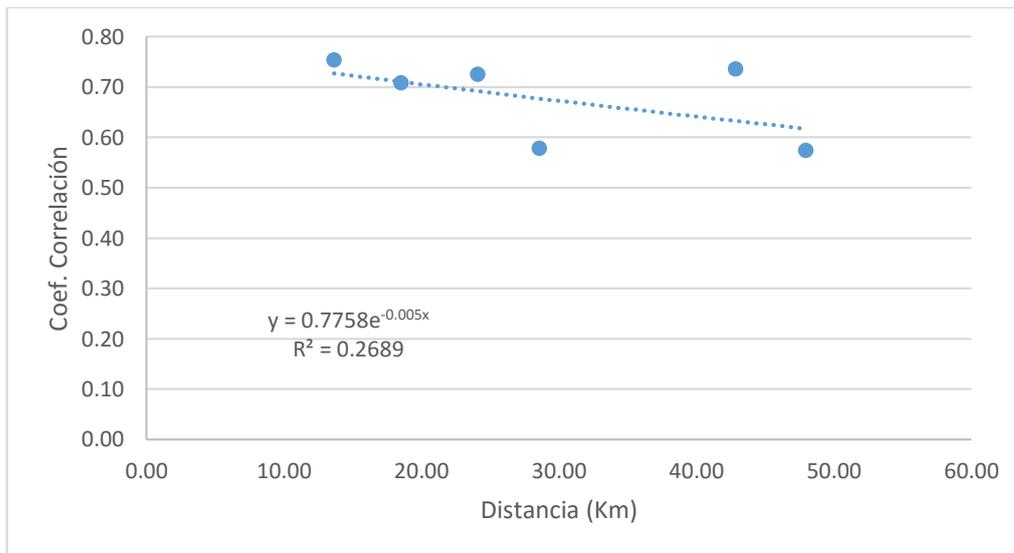


Figura 52: Correlación Cairani

Tabla 34: Correlación Candarave

Estaciones	Coef. Correlación	Distancia (Km)
Candarave - Toquepala	0.43	41.58
Candarave - Qda Honda	0.69	27.76
Candarave - Tacalaya	0.73	24.99
Candarave - Suches	0.71	41.21
Candarave - Vizcachas	0.52	40.18
Cairani - Candarave	0.75	13.65

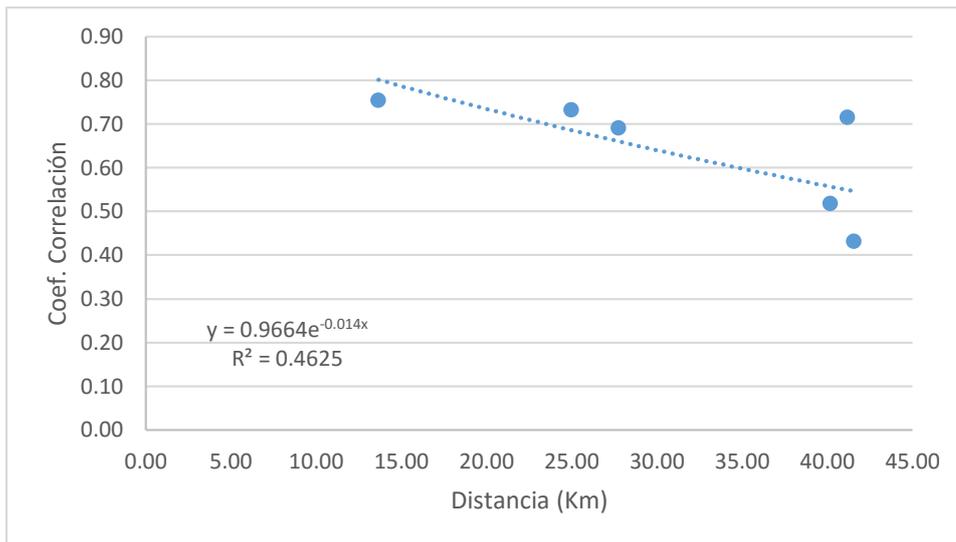


Figura 53: Correlación Candarave

Tabla 35: Correlación Toquepala

Estaciones	Coef. Correlación	Distancia (Km)
Toquepala - Qda Honda	0.44	18.65
Toquepala - Tacalaya	0.46	34.32
Toquepala - Suches	0.46	49.22
Toquepala - Vizcachas	0.41	63.77
Cairani - Toquepala	0.58	28.59
Candarave - Toquepala	0.43	41.58

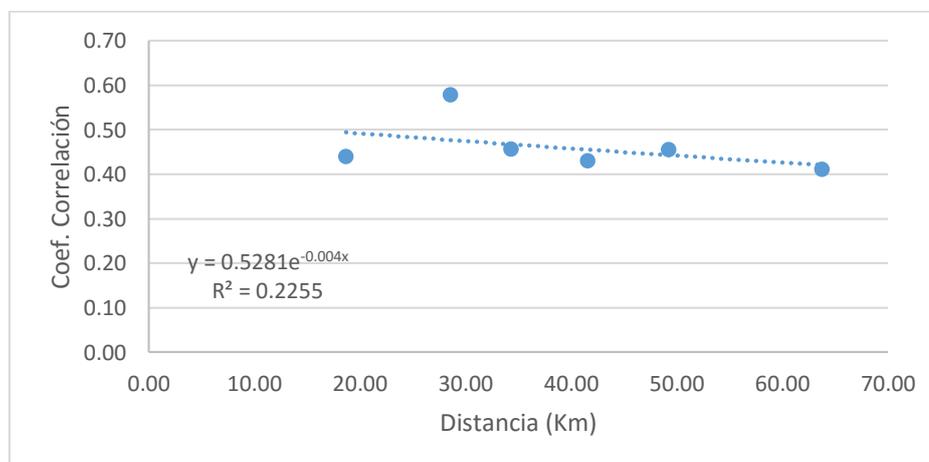
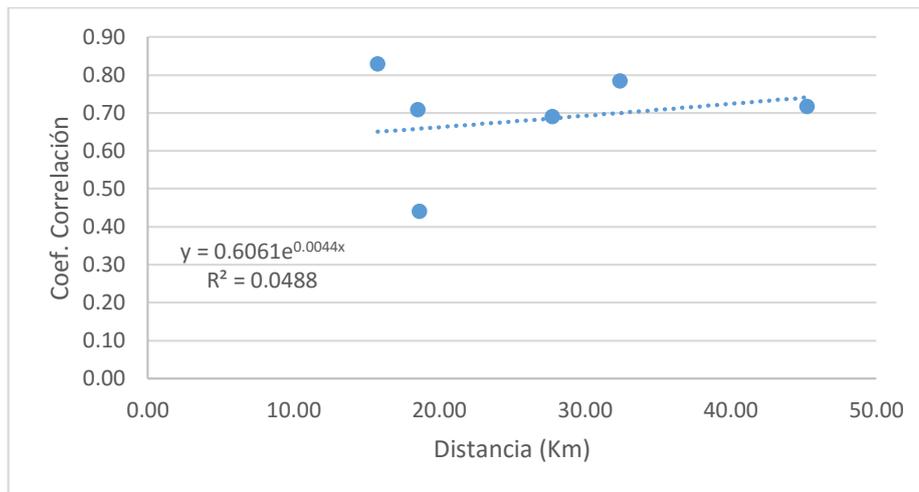


Figura 54: Correlación Toquepala

Tabla 36: Correlación Quebrada Honda

Estaciones	Coef. Correlación	Distancia (Km)
Qda honda - Tacalaya	0.83	15.78
Qda honda – Suches	0.78	32.42
Qda honda - Vizcachas	0.72	45.24
Cairani - Qda Honda	0.71	18.52
Candarave - Qda Honda	0.69	27.76
Toquepala - Qda Honda	0.44	18.65

**Figura 55: Correlación Quebrada Honda****Tabla 37: Correlación Tacalaya**

Estaciones	Coef. Correlación	Distancia (Km)
Tacalaya-suches	0.82	18.90
Tacalaya-vizcachas	0.78	29.47
Cairani-tacalaya	0.72	24.08
Candarave-tacalaya	0.73	24.99
Toquepala-tacalaya	0.46	34.32
Qda honda-tacalaya	0.83	15.78

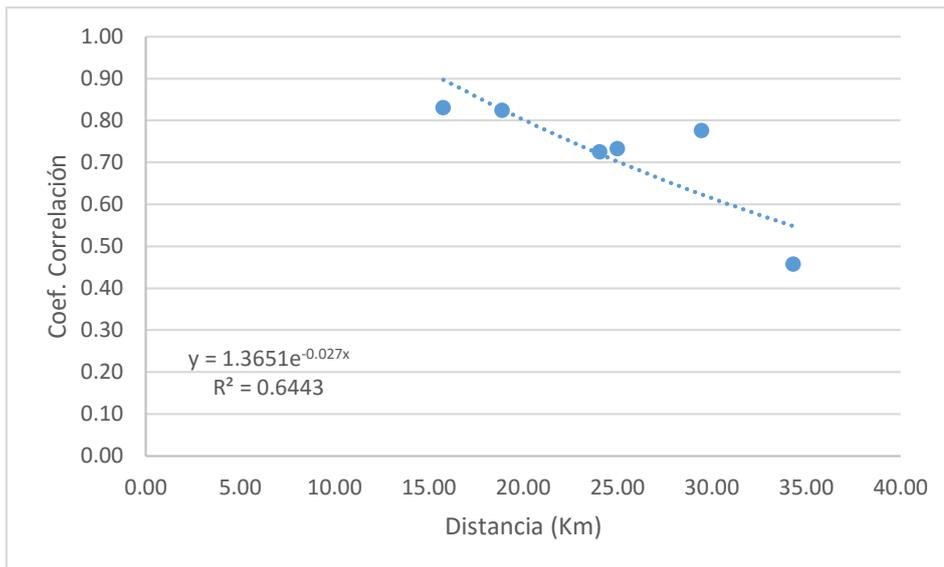


Figura 56: Correlación Tacalaya

Tabla 38: Correlación Suches

Estaciones	Coef. Correlación	Distancia (Km)
Cairani - Suches	0.74	42.86
Candarave - Suches	0.71	41.21
Toquepala - Suches	0.46	49.22
Qda honda - Suches	0.78	32.42
Tacalaya - Suches	0.82	18.90
Suches - Vizcachas	0.69	20.78

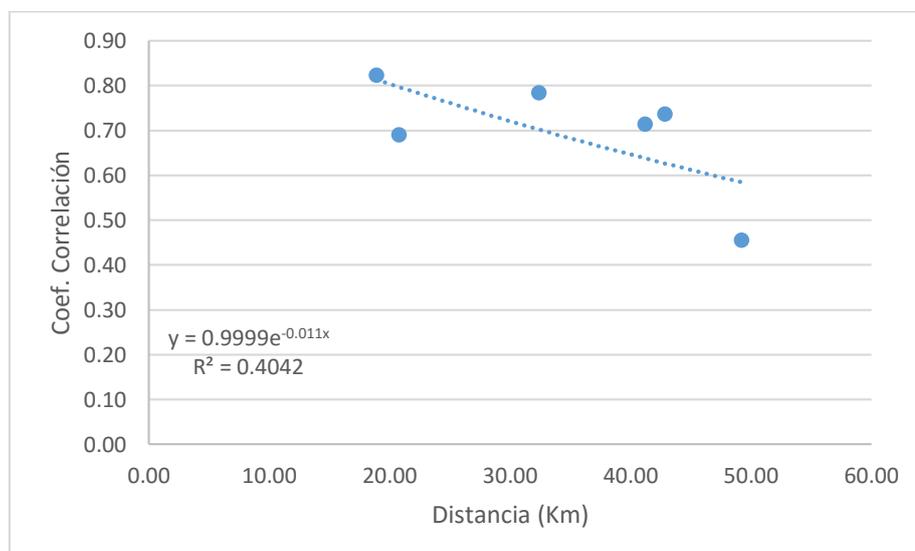


Figura 57: Correlación Suches

Tabla 39: Correlación Vizcachas

Estaciones	Coef. Correlación	Distancia (Km)
Cairani - Vizcachas	0.57	47.97
Candarave - Vizcachas	0.52	40.18
Toquepala - Vizcachas	0.41	63.77
Qda honda - Vizcachas	0.72	45.24
Tacalaya - Vizcachas	0.78	29.47
Suches - Vizcachas	0.69	20.78

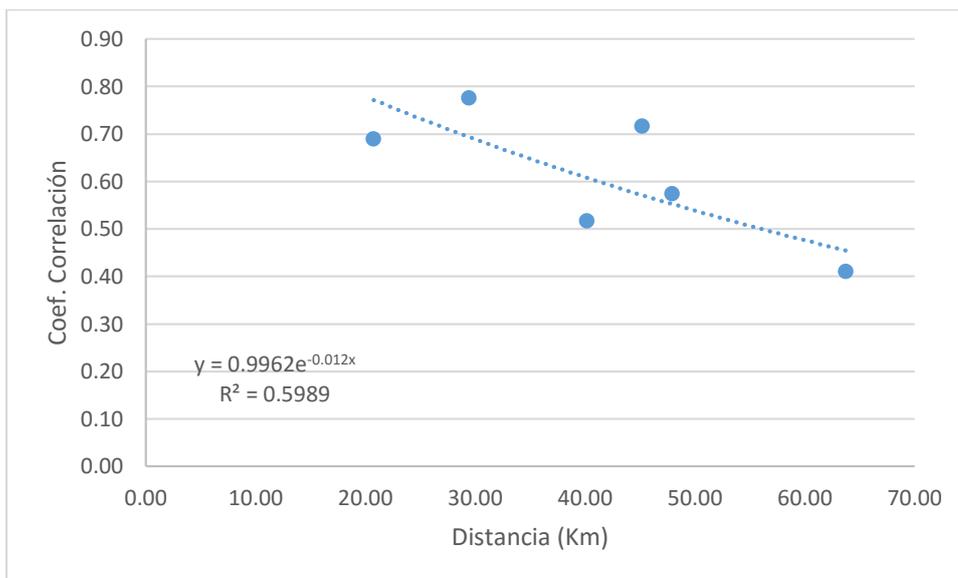


Figura 58: Correlación Vizcachas